

UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

FACULTAD DE GEOLÓGICA, MINERA, METALÚRGICA Y GEOGRÁFICA

E.A.P. DE INGENIERÍA GEOLÓGICA

“Caracterización mineralógica y morfométrica de los sedimentos eólicos de la Península de Paracas-Ica y su relación con las variables meteorológicas durante el invierno”)

TESIS

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Geólogo

AUTOR

Ángel Iván Calderón Allauca

Lima – Perú

2013

DEDICATORIA:

A mis padres, Isaac Teófilo Calderón Chavez, y María Juana Allauca Zúñiga porque absolutamente todo lo que soy y he logrado se lo debo a ellos, a mi hermano Isaac Calderón Allauca por su lealtad incondicional, su confianza, su grandeza y nobleza, que me hizo tenerlo como un segundo guía para mis proyectos y vida profesional.

A mis abuelos, María y Elías, Teófilo y Ernestina, a mi tío Jaime por su amor que demostró a mi padre en todo momento y por su apoyo cuando lo necesitamos.

A mi hijo Fabio Isaac porque con su llegada, dio el impulso necesario para que en el momento más difícil de mi vida volviera a surgir la motivación que necesitaba para seguir adelante con los proyectos que empezamos y que debemos terminar; y a Janina Salazar, una mujer inteligente y compañera mía, por estar a mi lado y darle junto a mi hijo la estabilidad emocional a mi vida, gracias al amor que me dan todos los días; y ser la excelente madre de mi maravillosa y principal razón de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco el tiempo brindado, el apoyo y los consejos personales y profesionales de los ingenieros César Chacaltana, María Morales y José Macharé (INGEMMET); del Dr. Pedro Tapia, del Ing. Federico Velazco, del Dr. Dimitri Gutierrez; de la Ing. Juana Solís y Ernesto Fernández (IMARPE); al IRD por brindarme la oportunidad de realizar este proyecto dentro de un convenio de pluralidad científica del que fui parte y que enriqueció mis conceptos geológicos y me hizo conocer nociones de otras ramas de la investigación científica (Biología y Oceanografía) que se aplicaron paralelamente a mi tesis.

A las instituciones INGEMMET e IMARPE por darme todas las facilidades y accesos a la biblioteca y laboratorios, necesarios para poder desarrollar el tema de investigación y realizar un adecuado análisis de las muestras de campo.

A mi universidad UNMSM donde pasé en sus aulas e instalaciones excelentes momentos que marcaron mi vida no sólo académica sino personal; a todos mis profesores de quienes aprendí muchas cosas invaluable como geólogos y como personas; y mis amistades que tuve la suerte de conocer durante el lapso académico universitario y de investigación, ya que cada uno de ellos con sus comentarios, consejos, críticas y compañía, contribuyeron a que el ambiente laboral sea motivante y propicio para desarrollar un adecuado trabajo.

ASESOR DE TESIS:

Ing. Javier Jacay.

JURADO DE MERITO:

Ing. Antonio Guzmán Martínez (Presidente del Jurado)

Ing. Orlando de la Cruz Wetzell

Ing. Jaime Zegarra Navarro

CONTENIDO

SUMARIO

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES	1
1.2 OBJETIVOS	2
1.3 UBICACIÓN Y ACCESIBILIDAD	3
1.4 ASPECTOS GEOGRÁFICOS	5
1.5 ASPECTOS SOCIOECONOMICOS	7

CAPÍTULO II: MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

2.1 ESTRATIGRAFÍA	10
2.2 EVOLUCIÓN TECTÓNICA Y SEDIMENTARIA DE LA CUENCA PISCO A FINALES DEL MESOZOICO Y DURANTE EL CENOZOICO	14
2.3 MODELO TECTÓNICO DESARROLLADO EN PARACAS DURANTE EL CENOZOICO	16

CAPÍTULO III: GEOMORFOLOGIA

3.1 GEOFORMAS EÓLICAS EN PARACAS	20
----------------------------------	----

CAPÍTULO IV: CLIMA Y METEOROLOGIA

4.1 PENÍNSULA DE PARACAS	23
--------------------------	----

CAPÍTULO V: MARCO TEÓRICO

5.1 SEDIMENTOLOGÍA EÓLICA	26
5.2 RASGOS MINERALOGICOS Y MORFOMETRICOS	29
5.3 GRANULOMETRIA	31
5.4 TRANSPORTE EOLICO DE PARTICULAS SEDIMENTARIAS	32

CAPÍTULO VI: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

6.1. ETAPA DE CAMPO	35
6.2. ETAPA DE GABINETE	36

CAPÍTULO VII: RESULTADOS

7.1 RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS SEDIMENTOLOGICOS EN PARACAS: GRANULOMETRIA, MINERALOGIA Y MORFOMETRIA DE LAS ARENAS EOLICAS ENTRAMPADAS EN LA ESTACION EOLICA EXPERIMENTAL	45
7.1.1. GRANULOMETRIA	45
7.1.2. MINERALOGIA	59
7.1.3. MORFOMETRIA	63
7.2 RELACIÓN ENTRE CUARZOS Y FELDESPATOS RESPECTO A LA INFLUENCIA CLIMÁTICA	71
7.3 RESULTADOS METEOROLÓGICOS	74
7.3.1 DIRECCIÓN E INTENSIDAD DE LOS VIENTOS	74
7.3.1.1 INTERVALOS DE 6 Y 12 DÍAS (GRÁFICO DE BARRAS)	74
7.3.1.2 INTERVALOS DE COLECTA (GRÁFICO DE ROSA DE VIENTOS)	78
7.3.2 ANOMALÍA DE VIENTO PARACA	86
7.4 RELACIÓN ENTRE LA DINAMICA DE LOS SEDIMENTOS Y LAS VARIABLES METEOROLOGICAS	88

7.4.1 CORRELACIONES ENTRE LOS SEDIMENTOS ENTRAMPADOS Y LAS VARIABLES METEOROLÓGICAS	88
7.4.2 COMPARACIÓN ENTRE DATOS DE CORPAC Y DATA METEOROLÓGICA DE PARACAS	90
7.4.3 TASA DE ACUMULACIÓN DE LOS SEDIMENTOS EÓLICOS	92
7.4.4 FLUJOS SEDIMENTARIOS EÓLICOS	97
7.4.5 DIFRACTOMETRIA DE RAYOS X	99

CAPÍTULO VIII: INTERPRETACIONES Y CONCLUSIONES

CONTRIBUCIONES INGENIERILES, AMBIENTALES Y ORIGINALIDAD	105
--	-----

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	106
-----------------------------------	-----

ANEXOS

Secuencia de fotos colecta de sedimentos eólicos	35A(5)
Índice de figuras	
Índice de tablas	

ANEXOS

INDICE DE FIGURAS

FIGURA N° 1: Mapa de ubicación de la estación meteorológica (EEE)	3
FIGURA N° 2: Mapa vial de la zona Lima – Ica	4
FIGURA N° 3: Unidades Pre-Cenozoicas en el área de Pisco	10
FIGURA N° 4: Mapa de ubicación de la cuenca Pisco Oriental	12
FIGURA N° 5: Nomenclatura estratigráfica de la cuenca Pisco	13
FIGURA N° 6: Modelo de la dinámica de aporte de sedimentos eólicos y captura de sedimentos eólicos	28
FIGURA N° 7: Cuadros de esfericidad y redondez	30
FIGURA N° 8: Ejemplo de toma de campos visuales de observaciones microscópicas	42
FIGURA N° 9: Representación gráfica del tamaño de grano predominante en la colecta de sedimentos caja eólica N° 1	52
FIGURA N° 10: Representación gráfica del tamaño de grano predominante en la colecta de sedimentos caja eólica N° 2	55
FIGURA N° 11: Representación gráfica del tamaño de grano predominante en la colecta de sedimentos caja eólica N° 3	58
FIGURA N° 12: Serie de tiempo de la velocidad y dirección del viento	74
FIGURA N° 13: Serie de tiempo de la velocidad del viento	75
FIGURA N° 14: Serie de tiempo de la dirección del viento	76
FIGURA N° 15: Dirección regional predominante de los vientos en la costa peruana	78
FIGURA N° 16: Distribución y dirección de movimiento de las arenas eólicas en la zona de Yauca– Palpa	79
FIGURA N° 17: Influencia de los vientos marinos	79
FIGURA N° 18: Histograma y rosa de vientos de la primera colecta de sedimentos	81
FIGURA N° 19: Histograma y rosa de vientos de la segunda colecta de sedimentos	83
FIGURA N° 20: Histograma y rosa de vientos de la tercera colecta de sedimentos	84
FIGURA N° 21: Histograma y rosa de vientos de la cuarta colecta de sedimentos	86
FIGURA N° 22: Registro de la intensidad de los vientos	87
FIGURA N° 23: Correlación entre las velocidades de viento y la dirección de vientos con la masa de sedimentos acumulada	89
FIGURA N° 24: Porcentajes de acumulación de sedimentos 1º intervalo de colecta (Mayo – Junio)	93
FIGURA N° 25: Porcentajes de acumulación de sedimentos 2º intervalo de colecta	

(Junio – Agosto)	94
FIGURA N° 26: Porcentajes de acumulación de sedimentos 3º intervalo de colecta	
(Agosto – Septiembre)	95
FIGURA N° 27: Porcentajes de acumulación de sedimentos 4º intervalo de colecta	
(Septiembre-Noviembre)	96
FIGURA N° 28: Flujos eólicos de los 4 intervalos de colecta en escala logarítmica	98

INDICE DE TABLAS

TABLA N° 1: Cuadro de granulometría	31
TABLA N° 2: Medidas granulométricas para arenas	41
TABLA N° 3: Resultados granulométricos de la caja eólica más cercana a la superficie en época de fenómenos de vientos Paraca (Agosto – Septiembre)	47
TABLA N° 4: Resultados granulométricos de la caja eólica más cercana a la superficie (Septiembre – Noviembre)	48
TABLA N° 5: Resultados granulométricos de la caja eólica más cercana a la superficie (Noviembre – Enero)	49
TABLA N° 6: Distribución granulométrica de los sedimentos captados en la caja eólica N° 1(todos los meses de colecta)	51
TABLA N° 7: Distribución granulométrica de los sedimentos captados en la caja eólica N° 2(todos los meses de colecta)	54
TABLA N° 8: Distribución granulométrica de los sedimentos captados en la caja eólica N° 3	57
TABLA N° 9: Porcentajes de minerales reconocidos en la sección delgada (1° intervalo de colecta)	59
TABLA N° 10: Porcentajes de minerales reconocidos en la sección delgada (2° intervalo de colecta)	60
TABLA N° 11: Porcentajes de minerales reconocidos en la sección delgada (3° intervalo de colecta)	61
TABLA N° 12: Porcentajes de minerales reconocidos en la sección delgada (4° intervalo de colecta)	62
TABLA N° 13: Porcentajes de minerales de cuarzo según su morfometría observada al microscopio (1° intervalo de colecta)	64
TABLA N° 14: Porcentajes de minerales de feldespatos según su morfometría observada al microscopio (1° intervalo de colecta)	64
TABLA N° 15: Porcentajes de minerales de cuarzo según su morfometría observada al microscopio (2° intervalo de colecta)	65
TABLA N° 16: Porcentajes de minerales de feldespatos según su morfometría observada al microscopio (2° intervalo de colecta)	66
TABLA N° 17: Porcentajes de minerales de cuarzo según su morfometría observada al microscopio (3° intervalo de colecta)	67
TABLA N° 18: Porcentajes de minerales de feldespatos según su morfometría observada al microscopio (3° intervalo de colecta)	68
TABLA N° 19: Porcentajes de minerales de cuarzo según su morfometría observada al microscopio (4° intervalo de colecta)	69
TABLA N° 20: Porcentajes de minerales de feldespatos según su morfometría observada	

al microscopio (4º intervalo de colecta)	70
TABLA N° 21: Tabla de observación de minerales al microscopio. Colecta de flujos más cercanos a la superficie (14.2 cm)	72
TABLA N° 22: Tabla de observación de minerales al microscopio. Colecta de flujos a 58.4cm de la superficie	72
TABLA N° 23: Tabla de observación de minerales al microscopio. Colecta de flujos a 107.4cm de la superficie	73
TABLA N° 24: Secuencia de colecta de sedimentos eólicos (Datos aeropuerto de Pisco (David Escobar))	90
TABLA N° 25: Secuencia de colecta de sedimentos eólicos en Paracas	91
TABLA N° 26: Tasa efectiva de colecta 1º intervalo de colecta (Mayo – Junio)	93
TABLA N° 27: Tasa efectiva de colecta 2º intervalo de colecta (Junio – Agosto)	94
TABLA N° 28: Tasa efectiva de colecta 3º intervalo de colecta (Agosto – Septiembre)	95
TABLA N° 29: Tasa efectiva de colecta 4º intervalo de colecta (Septiembre – Noviembre)	96
TABLA N° 30: Flujos de sedimentos en 4 períodos de colecta	97
TABLA N° 31: Análisis difractómetro de rayos x	100

CAPITULO I : INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

Esta tesis se realizó en el marco de las investigaciones realizadas por el equipo mixto de investigaciones paleoceanográficas MIXPALEO cuyo objetivo es la reconstrucción del sistema de surgencias marinas frente a las costas peruanas durante el Holoceno, a partir de la aplicación de proxis paleoceanográficos. Los estudios iniciales de registros sedimentarios marinos mostraron la composición detrítica y biogénica de las zonas de la plataforma continental interna y externa frente a Pisco y Callao a partir de dos testigos colectados a profundidades entre 200 y 299 mbnm permitiendo conocer los procesos biogeoquímicos de fondo a partir de un análisis multiproxies. Para la comprensión de los procesos geodinámicos se debe conocer, en este caso, el origen de la composición detrítica de los testigos y; en este sentido es necesario conocer y comprender los procesos de transferencia de sedimentos del continente al océano y que variables producen y controlan la sedimentación. En este contexto desarrollamos la investigación, tema de la presente tesis que nos permite tener una idea más clara acerca de la dinámica eólica en la costa peruana septentrional; de la composición y textura de los sedimentos transportados y su relación con las variables climáticas, abriendo de esta manera una nueva línea de investigación en el Perú, la de sedimentos eólicos. Los resultados de la presente investigación son una herramienta para la calibración e interpretación de los registros marinos frente a Pisco y Callao.

Como área de estudio se eligió Paracas, zona costera, afectada durante la mayor parte del año por un intenso transporte eólico de dirección SE. Aquí se instaló la primera Estación Eólica Experimental con trampas eólicas, en el Perú, a fin de coleccionar sedimento y captar las variables meteorológicas de intensidad, dirección de vientos y presión atmosférica relacionada a su transporte. El análisis de las partículas atrapadas y transportadas por saltación y suspensión son la base de mi investigación y objetivo de mi tesis. De los resultados obtenidos, la cantidad de material sedimentario transportado nos da una idea de la dinámica de los vientos en esta zona y la naturaleza del material movilizado hacia la plataforma continental frente a Pisco. La granulometría de los testigos submarinos en una medida de 60 a 100 micras evidencia el aporte de sedimentos eólicos hacia el mar.; ya que este es el tamaño promedio de las fracciones que son susceptibles de ser movilizadas por el viento

Resultados similares ya se tienen en Chile, investigaciones realizadas en la Península de Mejillones, permitió la reconstrucción paleoambiental de las ocurrencias del Niño oscilación sur (ENSO) a escala secular.

1.2 OBJETIVOS

En la península de Paracas se desarrolla una dinámica de flujos de sedimentos eólicos, con peculiares e inusitadas velocidades de vientos que propician el transporte de estos sedimentos en ambas direcciones, es decir hacia el continente y hacia el mar sedimentándose a lo largo de la línea de costa, en el mar y en el continente; ¿Cómo y según que variables se movilizan estas arenas?, ¿qué requisitos geológicos requieren para su movilización? ¿Qué minerales dominan en el flujo eólico hacia la Bahía? Respondiendo algunas de estas preguntas, podremos contribuir a la diferenciación del tipo de material acarreado por vientos en dirección hacia el mar y estimar sus grados de intensidad e importancia según las variables meteorológicas.

Entonces podemos decir que debido a las diferentes velocidades de vientos suscitadas diariamente en la Península de Paracas, las arenas que componen los sedimentos eólicos realizan diferentes tipos de dinámica de movimiento, guiados y rigiéndose por características propias de su forma y composición. Para explicar estas preguntas y resolver dudas que ayuden a analizar con mejor resolución esta investigación interdisciplinaria se programaron los siguientes objetivos.

Objetivo general y específicos.

1.2.1 Objetivo General

- Caracterizar los sedimentos eólicos, la granulometría, morfometría y mineralogía (cuarzo feldespatos, plagioclasas) de la zona de estudio y reconocer que características son definidas por las variables meteorológicas.

1.2.2 Objetivos específicos

- Determinación de la granulometría obtenida en cada caja entrampadora de arenas
- Determinación de composición mineralógica y de la morfometría de sedimentos en la fracción gruesa y fina.
- Cuantificar la tasa de acumulación de sedimentos eólicos entrampados en las cajas eólicas

1.3 UBICACIÓN

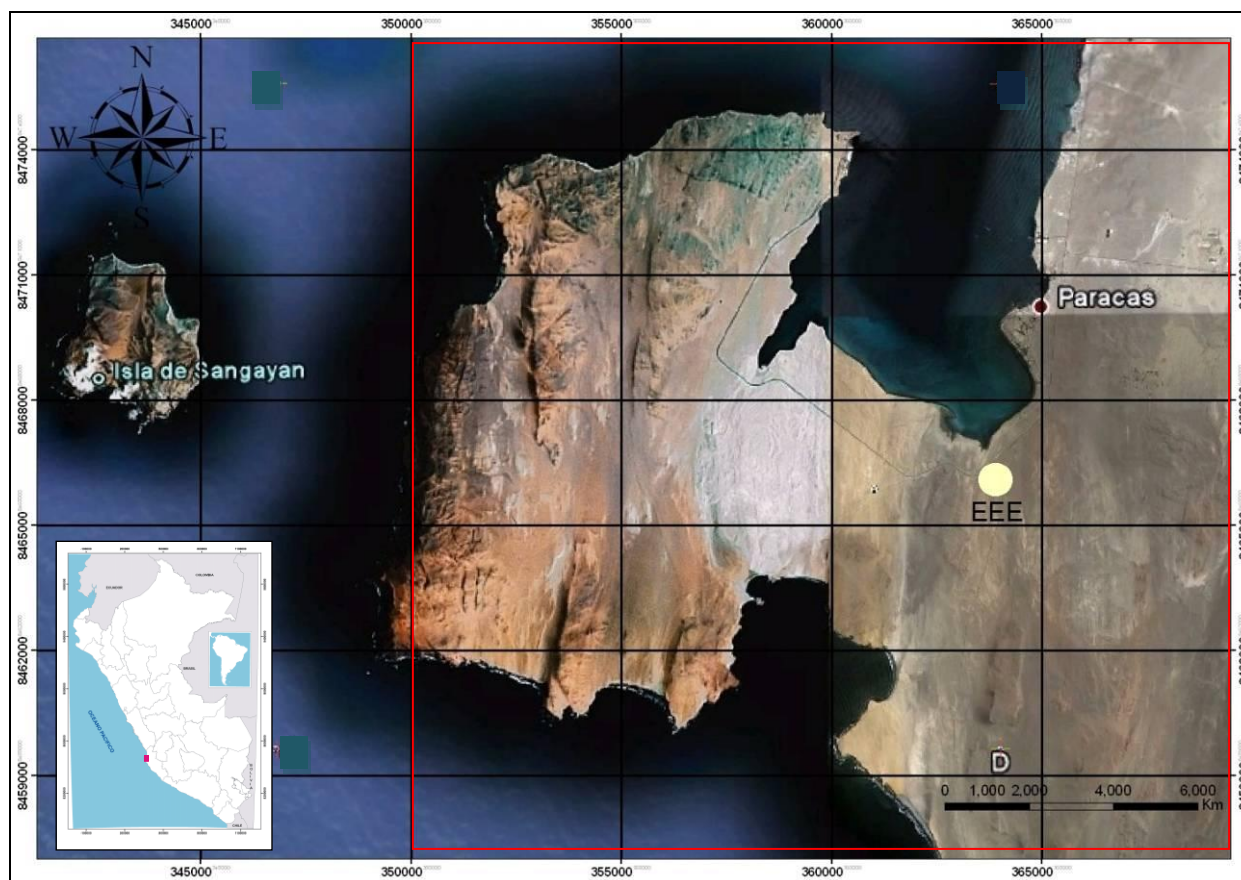


Fig. N° 1 Mapa de ubicación de la estación meteorológica y área de influencia de trabajo (EEE)

La zona de estudio se encuentra ubicada en Paracas, provincia de Pisco, región de Ica, Cuadrángulo de Pisco (28-k.). La Estación Eólica Experimental se ubicó en las Coordenadas UTM (WGS: 84) N 8466374 - E 364523 y el área de influencia de este trabajo está enmarcado en la Fig. N°1 entre las siguientes coordenadas: N 8457000-E 370000, N 8457000-E 350000, N 847600-E 350000, N 847600- E 370000. La Bahía de Paracas (Fig. 1) se encuentra a la altura del Km. 200 de la carretera Panamericana Sur y se encuentran vías asfaltadas que permiten llegar sin ningún problema hasta el lugar de muestreo y además la duración del viaje es de aproximadamente 3:00 horas a 77km/h desde la ciudad de Lima.

Ica se divide políticamente en 5 provincias: Chincha, Pisco, Ica, Palpa, Nazca; y 43 distritos, la mayor parte de su territorio comprende una amplia región costera mientras en Palpa y Nazca cruzan las estribaciones andinas, tiene un área de 21,328 km² (superíndice) tiene una altitud promedio de 406 msnm, alcanzando una máxima de 3796 msnm en San Pedro de Huacarpana y mínima de 2 msnm en Paracas.

1.3.1 ACCESIBILIDAD

Acceso: Para acceder a Paracas, la principal ruta es por la carretera Panamericana sur a 303 km. al sur de Lima, en aproximadamente 3:30 horas en auto a la altura de la ciudad de Pisco, existe un desvío asphaltado hacia esta ciudad, y continúa su ruta hasta la Península de Paracas, bordeando toda la parte Norte de ésta Península, luego con una carretera no asphaltada se llega hasta la Bahía de la Independencia, hasta la altura de la playa las Salinas, luego de la cual esta carretera dobla en V, siguiendo el camino nuevamente a la carretera panamericana.

Desde la Ciudad de Lima 303 Km. hasta la Ciudad de Ica. La RNP se encuentra ubicada a 250 km al sur de la ciudad de Lima.

Accesos a Ica:

Terrestre: Lima-Ica: 303 Km. por la Carretera Panamericana Sur (4 horas en auto).

Aérea: No existen vuelos regulares. Se ofrece servicio de taxi aéreo desde Lima.

Accesos a RNP:

Por la carretera de la Panamericana Sur ya sea pasando por la ciudad de Pisco y recorriendo la avenida costanera que cruza por la localidad de San Andrés, o tomando el desvío directo hacia la localidad de Paracas (sin necesidad de cruzar ambos centros urbanos). Otra modalidad de acceso es por vía marítima, a través del puerto San Martín, ubicado en Punta Pejerrey en la península de Paracas. (Eco Consult Perú para Mincetur, 2008)

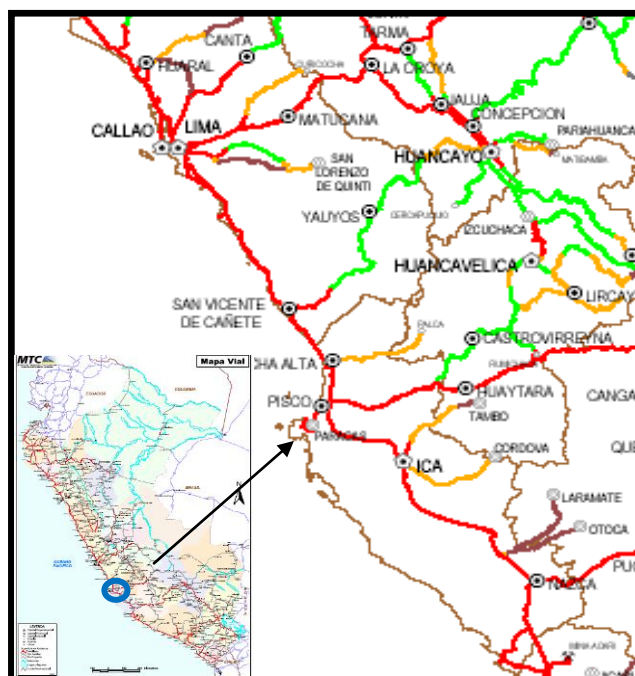


Fig. N° 2 Mapa vial de la zona LIMA – ICA (Pisco) Fuente: MTC

1.4.- ASPECTOS GEOGRÁFICOS

a) Ubicación de la Reserva Nacional de Paracas

El distrito de Paracas creado el 8 de marzo de 1951 es el más extenso de la provincia de Pisco. Además de su capital, Paracas, posee otros centros poblados como La Guanera y Laguna Grande. Gran cantidad de su desértico territorio es parte de la Reserva Nacional de Paracas. La Reserva Nacional de Paracas está comprendida dentro de las áreas naturales protegidas por la legislación peruana, fue creada como reserva el 25 de septiembre de 1975 (DS N° 1281-75 AG). Está ubicada en la región de Ica, provincias de Pisco e Ica, distritos de Paracas y Salas, respectivamente, entre los paralelos 13°47'.S. y 14°26'.S. y los 76°30'.W. y 76°00'.W., con una longitud en línea recta de 72 Km y un ancho máximo en línea recta de 53 Km. (Eco Consult Perú para Mincetur, 2008)

b) Límites

El distrito de Paracas limita por el:

Norte: Distrito de Pisco

Sur y el Este: Provincia de Ica

Oeste: Océano Pacífico

c) Superficie

La RNP cubre un área de 335 mil hectáreas de las cuales 117,406 (35%) corresponden a tierra firme e islas y 217,594 (65%) a aguas marinas.

d) Altitud:

Máxima: 3 796 msnm en San Pedro de Huacarpana. En la RNP son 786 msnm en Morro Quemado.

Mínima: Nivel del mar, aunque existen depresiones como Salinas de Otuma, con 5 mbnm en promedio.

e) Topografía

En general el relieve de la RNP es plano con elevaciones ubicadas hacia el oeste, en la misma costa y con corredores de un ancho variable entre ellas. En el perfil de la costa destacan los accidentes geográficos correspondientes a la Bahía de Paracas, la Península de Paracas, Punta Carreta, Bahía de la Independencia, Morro Quemado, Punta Gallinazo y las islas Independencia y San Gallán.(Eco Consult Perú para Mincetur, 2008)

f) Pisos latitudinales: Costa, Yunga, Quechua y Suni

g) Accidentes Geográficos:

Valles: Nasca, Ica, Pisco, Chincha, Palpa, Ingenio

Pampas: Noco, Hoja Redonda, Botija Quebrada, Paracas, Villacuri, Chunchanga,

Pampa Joya, Hoja Grande Piedras Azules, Castillos, Hornillo, Gran Tablazo.

Península: Paracas

Monte: Jayme

Desierto: Ica

Abras: Yana Chacca, Rumi Cruz, Quishuar, Pan de Azúcar, Molletambo

Puntas: Paracas, Huacas, Las Salinas, Gallinazos, Sacasemita, Carreta, Grande, Infiernillo,

Lomitas, Olleros, Caballas, San Francisco, San Fernando, San Juan Chiquerío

Bahías: Independencia, Lomitas, San Nicolás, San Juan

Islas: Chincha, Ballestas, Blanca, San Gayán, Zárate, Independencia, Santa Rosita

h) Clima

Cálido, desértico y sin lluvias en la Costa con una temperatura promedio de 23° C.

Templado - cálido en las Yungas.

Templado de altitud en las Quechuas.

Templado frío en las Sunis y sectores de Puna que pertenecen a su territorio.

1.5.- ASPECTOS SOCIOECONÓMICOS

“El ritmo de crecimiento demográfico esta marcado por los ciclos económicos, el mayor ritmo de crecimiento se dio en la década del sesenta durante el período del “boom” de la pesca, para luego declinar de manera sostenida; en particular el distrito de Paracas presenta un proceso de despoblamiento acentuado en los años setenta (coincidente con la creación de la RNP y la crisis de la actividad pesquera), y en los años noventa una ligera recuperación demográfica que puede estar asociada a la creación del balneario del mismo nombre, el área del Chaco y Lagunillas recibe una importante población flotante orientada a actividades de turismo y recreación. Paracas cuenta con los centros poblados Julio C. Tello Alberto Tataje y Alan García, estos dos últimos forman el sector del Chaco, puerto junto a la zona residencial de Paracas. El distrito también cuenta con los asentamientos humanos de Santa Cruz y Las Palmeras cerca de la carretera Panamericana Sur y con la zona industrial al norte del distrito hacia San Andrés, donde hay plantas procesadoras de pescado, almacenes, tanques y otras industrias como Funsur (fundición de estaño), la empresa Aceros Arequipa y la futura empresa Nitratos del Perú así como la planta de fraccionamiento de PlusPetrol, instalada en el año 2004. En el Chaco hay un muelle para embarcaciones menores, en el que se realizan faenas de pesca, embarque y desembarque de productos y movimiento de turismo (aquellos que van a las islas Ballestas o al Candelabro en lancha). Hay un conglomerado de restaurantes y hospedajes en las tres manzanas que componen el sector y existe venta de artesanías para el turismo.” (Eco Consult Perú para Mincetur, 2008).

En Lagunillas existe actividad turística desde los años 60 y actualmente se encuentran algunos restaurantes con servicios e infraestructura precaria (no cuentan con electricidad ni agua potable), además de actividades de pesca artesanal y extracción de sal “En la península de Paracas, distrito de Paracas, se ubica el Terminal marítimo General San Martín, a cargo de ENAPU PERU. Los distritos del eje Pisco-Paracas están conectados a la red telefónica. Se cuenta con acceso a Internet, ampliamente desarrollado en Pisco y bastante limitado en los demás distritos” (Eco Consult Perú para Mincetur, 2008).

La abundancia de pesca ha hecho de la pesca extractiva una de las actividades principales: “Existen cuatro centros de operaciones para el desembarque, acopio y comercialización de los productos marinos. Estos son San Andrés, El Chaco, Lagunilla y Laguna Grande, desde donde el producto es vendido a la hora de llegada y en forma inmediata. La actividad es estacional y se realiza por temporadas, y produce una migración temporal hacia la zona en las épocas en que existe una mayor abundancia de los recursos.” (Eco Consult Perú para Mincetur, 2008).

De igual modo, la actividad turística existe desde hace más de tres décadas y en general se encuentra en una etapa de desarrollo básica, sin mayor organización y sin embargo, tiene un gran aporte al producto bruto departamental: “Así, tenemos que las actividades del rubro "Hoteles y Restaurantes", directamente vinculado al turismo, aporta el 18% del PBI departamental y emplea al 2,11% de la PEA. El principal atractivo para el turismo receptivo a nivel departamental son las Líneas de Nazca y las Islas Ballestas” (Eco Consult Perú para Mincetur, 2008)

CAPÍTULO II: MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

2.1. ESTRATIGRAFIA

2.2. EVOLUCIÓN TECTÓNICA Y SEDIMENTARIA DE LA CUENCA PISCO A FINALES DEL MESOZOICO Y DURANTE EL CENOZOICO

2.3. MODELO TECTÓNICO DESARROLLADO EN PARACAS DURANTE EL CENOZOICO

CAPÍTULO II: MARCO GEOLÓGICO REGIONAL

La zona de estudio se reduce a la región de la Península de Paracas en donde estuvo instalada la estación meteorológica, y a efectos de entender de manera global la cuenca Pisco, zona que contiene a esta Península. Describiremos la estratigrafía de esta cuenca, refiriéndonos a las rocas de ambientes deposicionales mesozoicos y cenozoicos que han sido controlados por una tectónica de tipo transtensional dando lugar a grabens y semigrabens que reciben esta sedimentación

2.1 ESTRATIGRAFÍA

Las rocas más antiguas de esta zona son las del complejo basal, denominado así a un grupo de rocas metamórficas que afloran a lo largo de la costa peruana (Bellido y Narvaéz 1960) denominado como Complejo Basal de la Costa

En el Paleozoico tenemos calizas, metapelitas y conglomerados del Grupo Marcona, y al Grupo Ambo de edad carbonífera inferior con rocas silicoclásticas

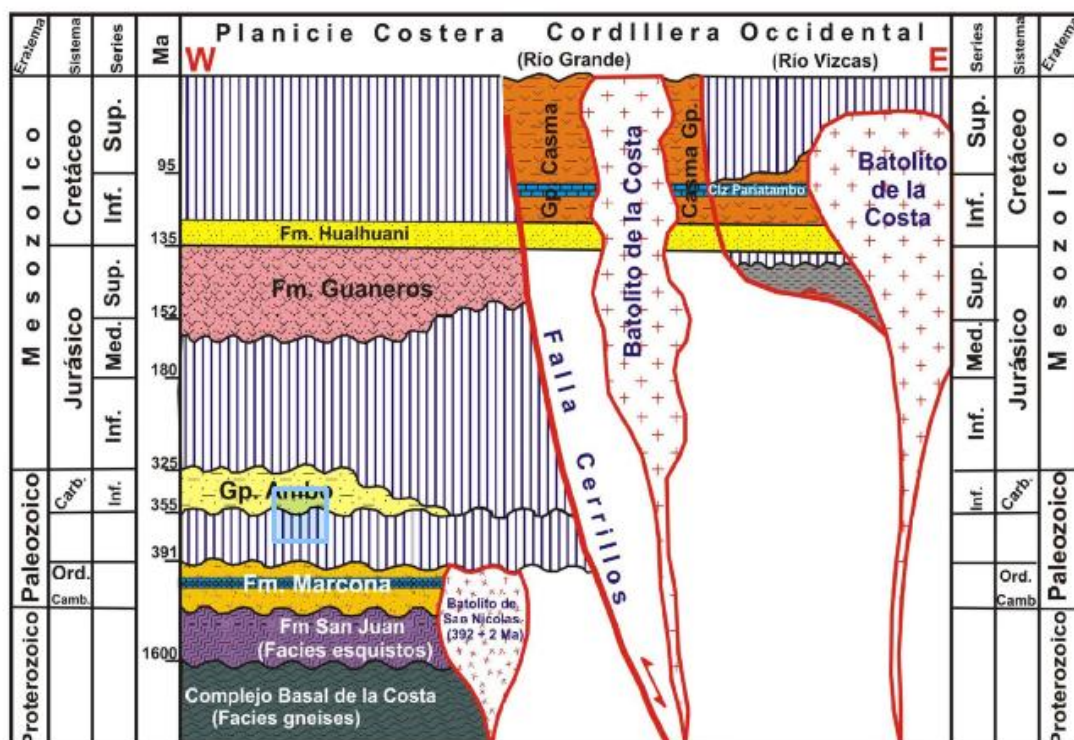


Fig. N°3 Unidades Pre-cenozoicas en el área de Pisco (INGEMMET, 2008)

El intrusivo ígneo está denotado por el Batolito de San Nicolás que aflora a lo largo de toda la cordillera de la costa desde la Península de Paracas, zona de trabajo de la presente investigación hasta San Juan de Marcona, la roca que ha sido intruida por este batolito es de naturaleza metamórfica de edad Proterozoica y también rocas del Paleozoico inferior (Caldas, 1978; Mukasa y Henry, 1990).

El Grupo Ambo consiste de areniscas de grano grueso con estratificación cruzada además de intercalaciones de lutitas (Newell, et al, 1953)

En cuanto a las rocas Mesozoicas tienen edades que varían entre el Jurásico Medio y el Cretáceo tardío. La Formación Guaneros es la más temprana de la era Mesozoica y la que documenta la presencia de un arco insular Jurásico en la zona de estudio y consta de rocas volcanoclásticas que luego son suprayacidas por sedimentos ricos en cuarzo denotando un cambio abrupto en la procedencia de los sedimentos por lo que se infiere un paralelo levantamiento de los bloques metamórficos y del hundimiento del arco Jurásico a inicios del Cretáceo, estos eventos dieron lugar a la deposición de rocas silicoclásticas de ambiente fluvial y marino somero la que se conoce como la Formación Hualhuani.

Luego se aprecian secuencias gruesas de volcanoclásticos al este de la falla Cerrillos (tiene un rumbo paralelo al arco) llamadas Grupo Casma, produciéndose después un emplazamiento del batolito de la costa que generó el levantamiento de la cordillera de la costa antes del evento extensional que marca el Eoceno medio (INGEMMET, 2008).

En cuanto al Cenozoico empezaremos describiendo la Formación Caballas del Eoceno medio, que consisten de areniscas fluviales, esta formación aflora en Puerto Caballas y en el graben de Parcana – Mainsa, 2 km al sur del paraje Monte Grande, ha sido denominada Formación Chilcatay por Dávila (1989) y Dumbar (1990); presentan estratificación cruzada, ciclos estrato decrecientes interpretados como facies de relleno de canal (Caldas, 2008); éstas están cubiertas por areniscas con signos de bioturbación, también de facies fluviales representando el inicio de la transgresión marina, llamada Formación Choros, luego se produce la deposición de lodolitas biogénicas de la Formación Yumaque del Eoceno superior-Oligoceno consecuencia de la subsidencia de los grábenes, estas dos formaciones componen el Grupo Paracas (Dávila, 1989).

Más tarde en el Oligoceno tardío tenemos las areniscas fosilíferas de la Formación Chilcatay, que evidencian un segundo período de extensión denotando una asociación al período de subsidencia debido a la presencia de diatomeas de la Formación Pisco del Mioceno inferior – Plioceno. En la parte superior de esta columna estratigráfica se ubican las lodolitas diatomáceas (Dumbar, 1990).

En el Plioceno tenemos la deposición de la Formación Changuillo compuesta de limoarcillitas, areniscas y lodolitas. En el Pleistoceno se da lugar al levantamiento de los Andes que originó la sedimentación de abanicos aluviales compuestos de conglomerados llamados Formación Cañete con terrazas que reflejan el levantamiento tectónico.



Fig. N°4 Mapa de ubicación de la cuenca Pisco Oriental (INGEMMET, 2008)

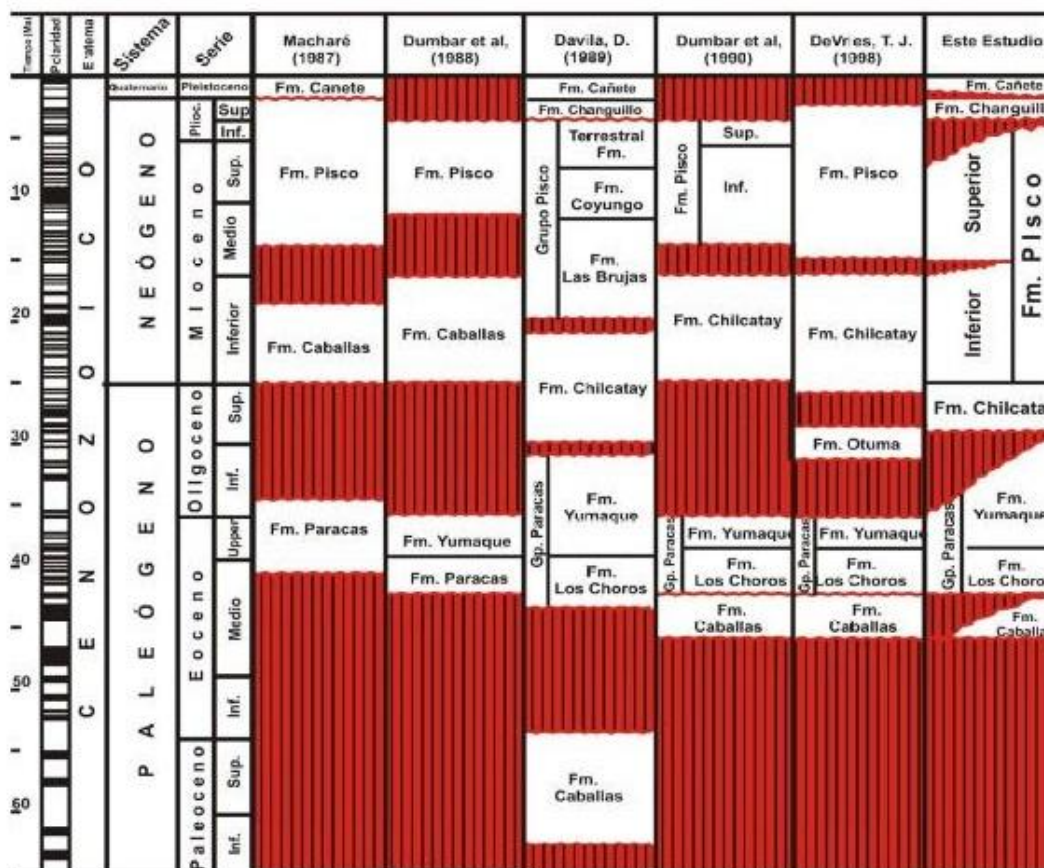


Fig. N°5 Nomenclatura estratigráfica de la cuenca Pisco (INGEMMET, 2008)

Podemos dividir la historia geológica de la cuenca pisco en tres etapas geológicas, la rotación en sentido horario del macizo de Arequipa en el Proterozoico, los registros geológicos del Mesozoico que nos detallan esfuerzos transtensionales regionales y la orogenia andina a finales del Cretáceo e inicios del Paleógeno; las cuales han sido estudiadas con diferente detalle, debido a que la evolución cenozoica tiene más estudios desarrollados en cuanto a su tectónica y se han realizado más trabajos en cuanto al análisis de subsidencia y al análisis de cuencas.

La tectónica en esta cuenca empieza en el Proterozoico con la acreción del macizo de Arequipa, y su rotación en el Cambriano, para darle paso luego a un esfuerzo extensional en el Neoproterozoico/Ordovícico, donde se suceden una serie de deposiciones de sedimentos metapelíticos y conglomerádicos llamados Grupo Marcona. Luego se da lugar a una fuerza compresiva de las rocas del Paleozoico inferior la cual está relacionada con el cierre de la cuenca de extensión ordovícica y enseguida el emplazamiento del batolito de San Nicolás (395 Ma.). El Grupo Ambo compuesto por areniscas con clastos de rocas volcánicas nos infieren

una etapa Carbonífera temprana de deposición fluvial a deltaica de este tipo de sedimentos en los flancos del arco volcánico inactivo del Devónico

Luego podemos definir una etapa tectónica Mesozoica a partir de una tectónica transtensional que se manifiestan en cuencas extensionales, largas y estrechas, esto es posible deducirlo por los cambios de facies y espesores en cortas distancias; lo que resumimos como el registro geológico del sistema arco-fosa del Jurásico temprano, sin embargo en esta etapa hay un dominio erosivo sobre el subductivo por lo que hay ausencia de prismas de acreción (típico en zonas de márgenes convergentes y que no suceden aquí). Este registro extensional está dado por el hundimiento del arco volcánico jurásico y la procedencia de sedimentos cuarzosos del Grupo Morro solar y de su equivalente volcánico Formación Hualhuani del Neocomiano.

2.2.- EVOLUCIÓN TECTÓNICA Y SEDIMENTARIA DE LA CUENCA PISCO A FINALES DEL CRETÁCEO Y DURANTE EL CENOZOICO

Hace aproximadamente 65 millones de años, cuando se dio inicio al evento tectónico más importante en el territorio peruano como es la Orogenia Andina, se dio también inicio al emplazamiento de diversas formaciones rocosas por toda la costa y sierra peruana; modificando por completo el suelo peruano.

A finales del Cretácico e inicios del Paleógeno se dio inicio al evento tectónico llamado orogenia andina, que generó levantamientos y plegamientos de la corteza terrestre dando lugar a la llamada Cordillera de los Andes, frente montañoso ubicado en la parte occidental del territorio peruano, luego de estos eventos, en el Cuaternario se sucedieron eventos fríos mundiales llamados glaciaciones, y entre estas etapas, eventos cálidos y secos llamados épocas interglaciares (período actual) que dejaron huellas en las partes más altas de la cordillera andina cubriéndolas de masas extensas de hielo.

Hasta el Cretáceo, es decir durante el Mesozoico, las formaciones que ahora son parte continental y que constituyen el relieve costero y andino constituyeron un fondo marino, el cual fue alimentado por diversas tipos de sedimentación mayormente volcánica, sin embargo solo la parte andina fue definitivamente continental, debido a que la franja costera fue sometida a diversas etapas de transgresiones y regresiones marinas. Paralelamente a su desarrollo, toda esta formación volcánica y sedimentaria fue dividida en dos grandes bloques debido a una intrusión magmática que ya consolidada fue conocida como el batolito de la costa, el cual deja

al este la base del relieve de la sierra y al oeste una faja de colinas costeras paralelas e intermitente en su recorrido por la línea de costa.

La geología de la zona se caracteriza por presentar diversos tipos de depósitos cuaternarios, enmarcados e influenciados por afloramientos mesozoicos, cenozoicos así como también encontramos intrusiones paleozoicas y precámbricas en las zonas de mayor debilidad estructural, donde se formaron estos plegamientos y dieron lugar a la formación de penínsulas y bahías como la de Paracas, la mas importante en el territorio peruano costero.

Las etapas de trasgresión y regresión marina se sucedieron con mucha frecuencia en el Cenozoico, más precisamente en el Eoceno, Oligoceno y Mioceno; depositándose diferentes tipos de rocas, como tobas calcáreas verdes, calizas y lutitas negras (plataformas carbonatadas próximas a arcos volcánicos); lutitas pizarrosas, areniscas cuarzosa, areniscas ovoides (talud); cuarcitas, lutitas negras (plataformas silicoclásticas) (León & Aleman, 2002), esta estratigrafía corresponde a la zona de los ríos Santa Cruz, Grande, Palpa y Vizcas, esta secuencia es Jurásica-Cretácica.

Estas incursiones marinas se deben a subsidencias debido a la convergencia oblicua de la placa, la unión de placas y lo heterogéneo de la litósfera (León & Aleman., 2002), viéndose reflejado en la formación de hemigrabens y grabens, cambios en la polaridad, incisión y rejuvenecimiento de ríos, estos generaron valles que se rellenaran de depósitos fluviales, así como discordancias angulares y depositación de flujos de escombros y de lodolitas tobáceas y diatomáceas. La presencia de tobas y vidrios volcánicos infiere la presencia de un arco volcánico al Este de la cuenca todas estas variaciones eustáticas trajeron consigo diversas formaciones como lo son: las formaciones Choros, Pisco, Chilcatay y Zumaque.

Durante la migración al sur de la placa de Nazca ocurre una inversión tectónica durante el Plioceno tardío al Pleistoceno, los grabens ocurren cuando se desarrollan esfuerzos estables de poca duración, por eso fue posible inferir un cambio en la orientación de los esfuerzos.

2.3. - MODELO TECTÓNICO DE PARACAS DURANTE EL CENOZOICO

Es así como durante el Cenozoico se dan 4 fases principales de eventos tectónicos que influyeron en la configuración del relieve topográfico, litología y sedimentación de la zona de Pisco, estos son:

Esfuerzos extensionales en el Eoceno medio (Lutetiano-Bartoniano), con la formación de hemigrabens y fallas normales, formación de cuñas de progradación y abanicos aluviales. Esta etapa se subdivide en 3 subetapas, la primera ya descrita donde se da lugar a la Formación Caballas; la posterior inundación marina de aguas someras llamada Formación Los Choros; luego los grandes olistolitos, las fallas sindeposicionales, rellenas por facies conglomerádicas dieron lugar a una fuerte subsidencia controlada por fallas y ésta a su vez dio lugar a una gran inundación marina, que trajo consigo la deposición de lodolitas tobáceas y diatomeas, a estas facies litológicas se le dió el nombre de Formación Yumaque.

En el Oligoceno tardío se sucedieron nuevamente esfuerzos extensionales, estos son deducidos por discordancias angulares de facies de areniscas finas de aguas someras con conglomerados de flujos de escombros, ésta es la Formación Chilcatay; pero este callamiento es continuo y sucede luego otra invasión marina donde esta vez se depositan lodolitas tobáceas y diatomáceas en láminas finas y pellets fosfáticos ésta es la formación Pisco inferior. Esta evolución estructural en la cuenca no es uniforme en toda la cuenca, y son características de esta cuenca, la reactivación de fallas y la generación de grabens.

En el Mioceno medio (Langhiano-Serravalliano) se renuevan los esfuerzos extensionales y dan lugar a la reactivación dinámica de los ríos y formación de nuevos valles que son rellenos por facies conglomerádicas, en esta etapa se produce un levantamiento tectónico, con una subsidencia y deposición de lodolitas biogénicas y tobáceas, así como vidrio volcánico, que indica la cercanía de volcanismo en la parte oriental de la cuenca, ésta es la formación Pisco superior.

Como 4º evento, durante la transición del Plioceno al Pleistoceno, se produce un cambio en la orientación de los esfuerzos, dando lugar a la inversión de la cuenca, generando su levantamiento, así como la formación de grabens que se forman siempre que se dan esfuerzos inestables de poca duración (León & Aleman., 2002).

CAPÍTULO III: GEOMORFOLOGIA

3.1. GEOFORMAS EÓLICAS EN PARACAS

CAPÍTULO IV: CLIMA Y METEOROLOGIA

4.1 PENÍNSULA DE PARACAS

CAPÍTULO III: GEOMORFOLOGIA

Todos los eventos suscitados en Paracas configuraron el relieve de la región, siendo la costa también afectada por todas estas etapas climáticas y tectónicas, reflejándose esto en las diversas formas geológicas que se pueden observar en la franja costera, como son las planicies, terrazas aluviales y fluviales, conos de deyección y derrubios.

La meteorización en las partes altas de las vertientes es mucho mayor con lo cual las rocas plutónicas del batolito de la costa sufren una degradación en su composición arenizándose rápidamente, siendo transportado este material de manera fluvial o eólica.

La zona de la Bahía de la Independencia y la Península de Paracas se caracteriza por presentar en su borde continental desiertos extensos y numerosas pampas con mantos de arena que cubren toda la zona de estudio, este material sedimentario tiene su origen en las corrientes que vienen del sur y que transportan el material y lo depositan en la línea de costa de esta Bahía influenciado por el clima de la zona, pero no solo es esta corriente de vientos la que genera estos desiertos; la dinámica de las aguas oceánicas meteorizan las rocas y los organismos fósiles, y los depositan en la playa, y estos son arrastrados hacia el continente por influencia de los vientos.

Es decir son tres los sistemas de aporte de material sedimentario eólico, éstos son el aporte fluvial de los ríos de la zona, en especial el Pisco, la dinámica de las aguas oceánicas, y los vientos del sur, siendo estos factores apoyados por la baja influencia pluviométrica de la zona de 15 mm anuales aproximadamente, la escasa nubosidad generada por los vientos que despejan el cielo y generan una recepción total de los rayos solares, y el clima árido y semi-árido que generan el Anticiclón del Pacífico Sur, los ciclos de radiación solar y la diferencia termal entre el continente y el mar y la posición geográfica cercana a la línea ecuatorial.

Dentro de estos desiertos podemos apreciar numerosas geoformas modeladas por el viento, como son las dunas y barjanas que infieren la dirección de los vientos según su concavidad y/o convexidad, estos se desarrollan de diferentes tamaños según la intensidad de los vientos, su granulometría y los obstáculos que puedan encontrarse en el desierto. Las rizaduras de corrientes o ripple marks son otras geoformas que se dan en el desierto en gran proporción, estas figuras sedimentarias se forman de manera sucesiva y paralelas, indicando también la predominancia en la dirección de los vientos, estos son rasgos geológicos sindeposicionales, existiendo de diferentes tipos de cresta, como ondulantes, discontinuas y rectas; las rizaduras

pueden ser, de oleaje, de corriente, de viento, combinadas, y aisladas; se dan en superficies no cohesivas o poco cohesivas

En esta región de Ica se determinaron 4 unidades geomorfológicas: Cordillera de la Costa, Penillanura costera, Valles y Etribaciones Andinas. La Bahía de la Independencia y la Península de Paracas corresponden al área de la Cordillera de la costa.

El departamento de Ica esta ubicado en una zona sísmicamente muy activa, y geológicamente muy compleja, ya que abarca en su territorio el flanco occidental de la Cordillera de los Andes con todas su quebradas y vertientes hidrográficas, una extensa planicie costera cubierta de extensos desiertos y pampas que encuentran en sus dominios innumerables geoformas como dunas, barjanes y rizaduras de corriente o ripple marks, que configuran el relieve llano de esta región costera.

Los desiertos arenosos como el de esta región peruana son típicos de climas áridos y con escasa precipitación anual, la altitud de esta cordillera y la corriente marina del sur configuran el clima y la morfología de esta zona; las arenas de la Bahía de la Independencia son según sea su mineralogía, indicador de roca fuente y su morfología puede inferir intensidad y distancia de transporte.

3.1.- GEOFORMAS EÓLICAS EN PARACAS

Los lugares donde hay más concentración de arenas son en los lugares donde se ha registrado glaciación y en las costas, donde solemos encontrar desiertos con distintas geoformas y estuarios con formas también reconocibles. Por tanto esta dinámica de los mares, de los ríos, de los vientos, nos indica una génesis mucho más importante en el cuaternario.

Cuando recorremos terrenos desérticos con características climáticas secas y áridas, generan espacios propicios para la formación de geoformas de arenas que nos revelan o intentan hacernos deducir la dirección del viento que los forma y por ende interpretar la génesis de los mismo; es decir, la sedimentación es un factor predominantemente sometido a la acción del flujo de arenas que se movilizan en la superficie del terreno donde se forman, las que a su vez son el resultado de diversos procesos físicos que se desarrollan según variables meteorológicas, a la que se suma la topografía abrupta, rugosa o lisa que deciden la rapidez, y el movimiento de sedimentación de las arenas. Son las rizaduras de arena las formas más conocidas formadas por estos procesos geomorfológicos, y generalmente tienen alturas entre 0.6 y 5 cm y el espacio entre las crestas de éstas puede variar entre 5 a 15 cm. según las condiciones del terreno y la intensidad del viento.



Foto N° 1. Brújula indicando dirección de rizadura de arena

En el caso de las dunas, éstas suelen tener formas mucho más variadas y dimensiones que pueden alcanzar hasta los 40 metros en el caso de Paracas y Pisco. En los desiertos de Africa se han medido dunas de hasta 300 metros. La formación de las dunas y las rizaduras se generan por movimientos de saltación dejando sobre su cresta los granos más pesados que resultan siendo los mas oscuros como es el caso de la magnetita, al darse ésta dinámica de movimiento el resultado es la formación de una pared compuesta por granos de minerales pesados, los que a su vez van formando una capa asimétrica detrás de ella de granos más finos, haciéndose más finos aún conforme aumenta la distancia del barlovento a la cresta, y dejando pasar por encima de ella, los granos de arenas más livianos y ligeros, los que vendrían

a ser las arenas muy finas con orientaciones generalizadas como consecuencia del viento suroeste, que es el predominante a nivel mundial.

- Rizaduras de arena: Son figuras sedimentarias que se desarrollan por la acción eólica, que consisten en la distribución parabólica de las arenas según su granulometría, dibujando claras figuras con a manera de campanas en dirección del viento, la distancia entre ellas suele ser de 3.5cm., no llegando a pasar 1cm de altura la estructura de su formación.



Foto N° 2. Rizaduras de arena en colina de Paracas



Foto N° 3. Rizaduras indicando dirección de viento

- Dunas: Constan de 3 partes, barlovento, sotavento y cresta. Se forman en las playas y desiertos por la acción eólica, teniendo como origen un obstáculo como inicio de la acumulación de arenas; éste obstáculo puede ser vegetal como se pueden apreciar en Lambayeque cerca de la universidad Pedro Ruiz Gallo, o mineral como en la Playa Tunga, en la Bahía de la Independencia en la que se puede ver como los minerales ferromagnesianos son los minerales que se encuentran en la base de la formación sedimentaria acumulando granulométricamente una gran masa de arena detrás de ésta pared.

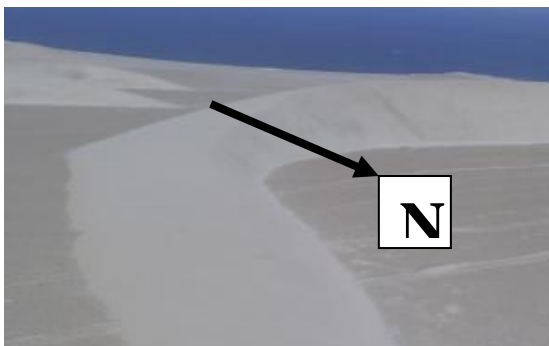


Foto N° 4 Barjan en dirección NO



Foto N° 5 Duna al sur de la Paracas

Las intensidades de movimiento, la naturaleza mineralógica, el relieve topográfico y el tamaño de grano, constituyen el mecanismo de sedimentación que marca las diferencias entre estas dos geoformas. Además de la vegetación y el encostramiento superficial, es la humedad uno de los factores que controlan el desplazamiento de las arenas debido a la adsorción molecular y a la capilaridad existente entre los granos que permanecen juntos en una superficie de sedimentos (McKenna & Neuman, 1989). Estas fluctuaciones en el contenido de humedad responde a numerosos factores que responden a una variabilidad temporal que nos dan cuenta de los cambios que se suscitan en la península y que juegan un rol importante en la dinámica de saltación eólica; tales son:

- Las variaciones en el nivel de las mareas
- Las variables atmosféricas o meteorológicas
- El drenaje
- Las aguas subterráneas
- Los productos de evaporación y drenajes

Las condiciones meteorológicas (humedad relativa, temperatura y presión) definen y controlan los cambios que ocurren en esta superficie y por lo tanto es un factor importante en la dinámica de transporte de los sedimentos eólicos.

CAPÍTULO IV: CLIMA Y METEOROLOGIA

4.1 PENINSULA DE PARACAS

El clima de la costa peruana en general está influenciado por varios factores como son, un gran sistema atmosférico conocido como el Anticiclón Subtropical del Pacífico Sur; la diferencia termal entre el continente y el mar, así como los efectos orográficos causados por la morfología del terreno; dando como resultado un clima templado con lluvias ocasionales que alcanzan los 2mm anuales, con frecuentes cielos despejados (lo cual ayuda a la formación de vientos), y con temperaturas que varían desde los 18 a 27° C en épocas de Verano y de 13 a 20° C en época de Invierno siendo en esta estación en donde se producen los Vientos Paracas que alcanzan velocidades de hasta 32 Km./h, los cuales cubren la atmósfera según sea su intensidad.

Aproximadamente desde los 4° S hasta los 35° S son los límites que han sido establecidos como la zona donde se producen vientos favorables al afloramiento de aguas profundas, que están asociadas a la inversión térmica por subsidencia. Existen ciclos diarios de insolación y ciclos anuales de radiación solar que disminuyen la temperatura superficial del mar aumentando así la diferencia termal que existe con el continente, reforzando de esta manera la intensidad de los vientos.

El Anticiclón del Pacífico Sur (APS) tiene una gran influencia en los climas en los climas de los territorios que circunda, es el caso del territorio desértico de Pisco en la Bahía de la Independencia, donde si bien es cierto los vientos dominantes son los vientos provenientes del sur, también existe una componente E-W debido a la diferencia en la gradiente termal de temperatura dado que las aguas del océano Pacífico en esta zona experimentan eventos de afloramiento de aguas frías y estas afloran a la superficie cambiando la temperatura superficial del mar, es por ello que es de mucha importancia medir la variabilidad estacional de los vientos en esta zona y sus cambios de dirección según el clima predominante para hacer una estadística de la proporción de flujos sedimentarios eólicos que se transportan en esta cuenca en determinadas épocas del año. Estas corrientes de aguas frías subsuperficiales son llevadas a la Bahía por la corriente peruana o de Humboldt, que finalmente constituyen un magnifico ecosistema marino debido a la abundancia de fitoplancton, que atraen a diferentes especies marinas y continentales

Al norte de la Península de Paracas (34 km al norte de Huarmey) en Playa Grande, los vientos convergen en una sola dirección, lo contrario sucede en el sur en la playa el Boquerón (zona

este de la Península de Paracas) donde los vientos divergen en varias direcciones debido a la topografía dentada del terreno. Pero sucede un caso especial con los vientos que avanzan hacia el Este ya que la topografía desde esta zona es diferente y se realiza la misma acción de convergencia y divergencia pero contrariamente a lo que sucede con los vientos que vienen del sur; las virazones que vienen del Oeste divergen en Playa Grande y convergen en Playa el Boquerón al norte de la Península. Estos vientos han sido registrados con una velocidad de 17 m/s, cerca de Lagunillas y a alturas de hasta 1000 m debido al importante gradiente registrado en la zona.

CAPITULO V: MARCO TEÓRICO

5.1 SEDIMENTOLOGÍA EÓLICA

5.2 RASGOS MINERALOGICOS Y MORFOMETRICOS

5.3 GRANULOMETRIA

5.4 TRANSPORTE EOLICO DE PARTICULAS SEDIMENTARIAS

CAPÍTULO V: MARCO TEÓRICO

5.1.- SEDIMENTOLOGIA EÓLICA

Los vientos costeros son el mecanismo principal que moviliza las arenas eólicas, las cuales son producto de la erosión fluvial de las rocas de las estribaciones andinas, la cordillera occidental y de rocas submarinas.

La zona de Pisco, tiene afloramientos metamórficos como acantilados, lo que nos da una geomorfología distinta a la zona norte y sur de la costa peruana, estas afloramientos cerca de las playas son debido a su mayor resistencia a la erosión. El clima de esta zona está calificado como subtropical, con variaciones lluviosas desde los 30 hasta los 70 mm por año, siendo esa la razón de porque se presentan mayor cantidad de lomas en la zona Norte del Perú a comparación de los desiertos y pampas que abundan en el centro de la costa peruana.

Se califica como afloramientos mesozoicos a los encontrados y mapeados en la zona central de la costa peruana con algunas intrusiones ígneas, pero sin presencia de elementos terciarios, a diferencia de la zona Norte del Perú, donde sí se encuentran elementos terciarios, en concordancia estratigráfica con rocas mesozoicas.

Los elementos cuaternarios fluviales son predominantes en la región de la zona costera. Es sabido también que las arenas eólicas provienen además del lavado de las rocas submarinas y que la dinámica del oleaje les permite tener ingresos y egresos constantes, dándoles este mecanismo cierta esfericidad y morfología característica.

Sin embargo la principal fuente de estas arenas es continental ya que la única forma de aporte de elementos submarinos es el mecanismo de las corrientes submarinas que logran aportar las arenas del fondo marino en las playas y regiones proximales continentales; esto también nos lleva interpretar y a tener elementos y variables meteorológicas a analizar, como por ejemplo la dirección de los vientos y su influencia en los oleajes; esto sin duda hace pensar en los vientos como una variable en la mecánica de las olas que aportan en su mecanismo, arenas al mar, pero es sabido también que para mover tal masa acuática es necesario tener elementos eólicos de mayor envergadura que unas simples virazones.

Las dunas son catalogadas como elementos característicos de regiones en zonas de sedimentación, es en estas zonas donde las arenas eólicas alcanzan menor intensidad y desarrollan geoformas(dunas y barjanes) que contienen diferentes densidades y tamaños de

arenas, indicándonos direcciones e intensidades con su morfología en el caso del primero y con su tamaño y migraciones para lo segundo. Las altitudes de estas migraciones de arenas pueden alcanzar hasta los 20 metros de altura, que es la máxima altura estimada que pueden alcanzar los sedimentos que son movilizados por variables eólicas, y pueden cubrir formaciones cretácicas y terciarias como es el caso de la zona de Pisco. También se considera que la relación de aportes de los sedimentos eólicos es mínima en relación a la cantidad de sedimentos que aportan los medios fluviales.

La dinámica y turbulencia de las corrientes submarinas, realizan funciones de transporte de las arenas y la consecuente deposición de ellas en los litorales, esta formación de las playas arenosas se debe en gran parte a la erosión y al transporte de materiales que realizan los ríos al erosionar las rocas de los cauces que reciben su caudal o a la erosión de las mismas rocas que transportan; la consecuencia de esta erosión es la formación de arenas, éstas son llevadas hacia el mar y devueltas al litoral por las corrientes submarinas; éstas arenas son transportadas en el mar por la Corriente Peruana que va de sur a norte y van dejando en cada playa o caleta o bahía, sedimentos arenosos en cantidades según sea la topografía del terreno y las características marinas y meteorológicas de cada zona litoral. Esta erosión fluvial va dejando en las planicies por las que transcurre el río, extensas capas de arenas, a su alrededor, las que también son transportadas hacia el mar o dispersadas por el terreno por agentes eólicos, cerca del río que las originó movilizándolo también gran cantidad de sedimentos. En menor proporción el aporte de arenas de las rocas submarinas está también presente en este origen de las playas arenosas y de los litorales, gracias al lavado constante de las olas y las mareas que van erosionando las rocas del fondo del mar.

El viento puede transportar grandes masas de polvo (limos y arcillas) a grandes kilómetros de distancia pero no arenas, porque éstas están compuestas por cuarzos y feldespatos, o en algunos casos minerales pesados que tienen densidades mayores y sus espacios de desplazamiento son menores. Además de esto las arenas difícilmente pueden elevarse por encima de los 20 metros (Broggi, 1952) y su redistribución dependen mucho de la aridez de la zona y de su topografía.

SECUENCIA DINÁMICA DEL PROCESO DE APOORTE
SEDIMENTARIO EÓLICO A LA BAHÍA DE PARACAS

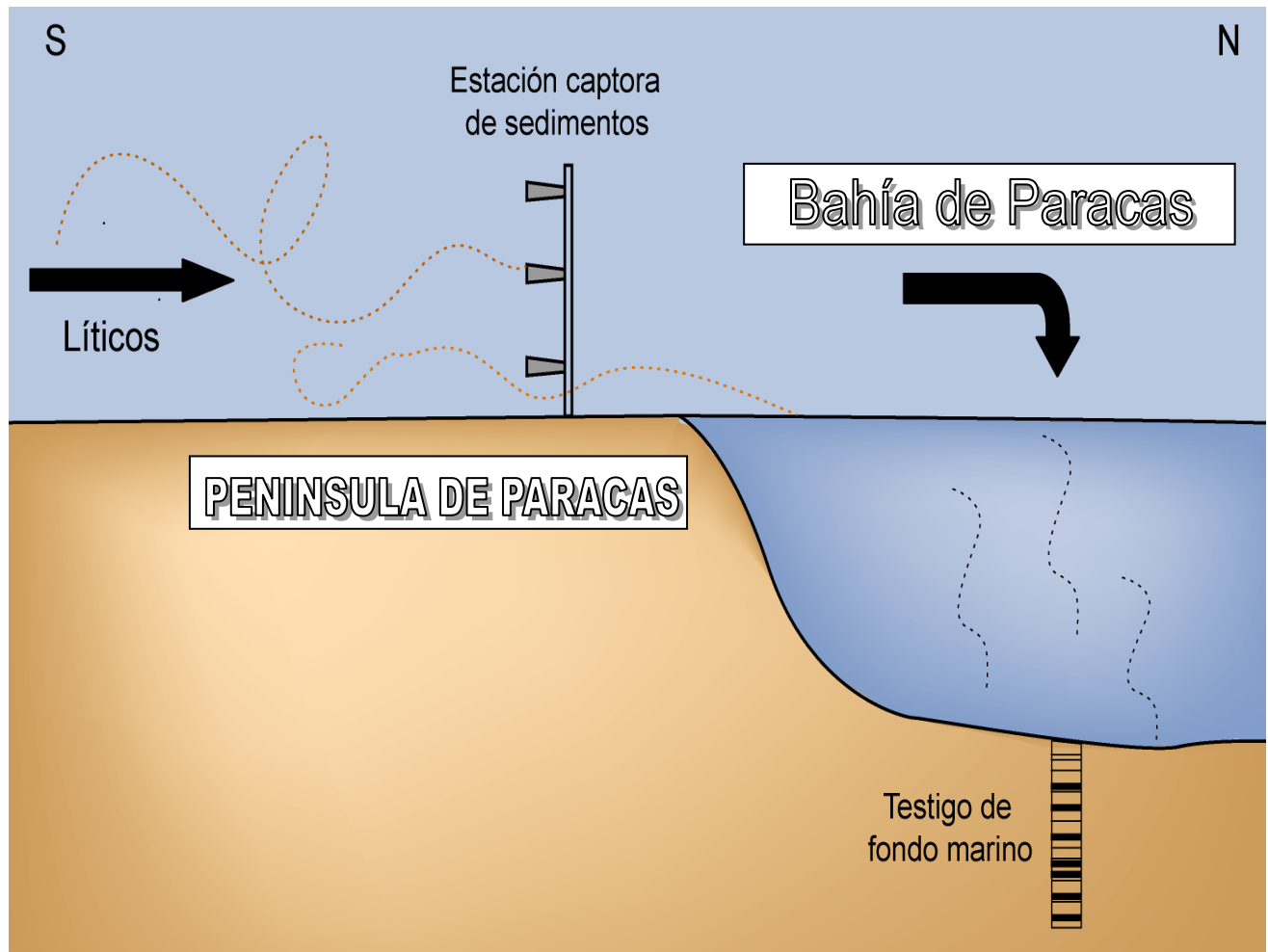


Fig. N° 6. Modelo de la dinámica de aporte de sedimentos eólicos y captura de
sedimentos eólicos

Esta determinado que por debajo de un porcentaje de 4% a 6% de humedad presente en los sedimentos eólicos no afecta el movimiento de saltación de las partículas de arena de una superficie sometida a esfuerzos eólicos, sin embargo por encima de este rango la humedad de los sedimentos eólicos superficiales son factor importante en los flujos que se desarrollan en un campo sometido a vientos; además se sabe que el umbral crítico de humedad para el arrastre de sedimentos es de 4% a 6%. El umbral crítico de los valores de arrastre se especifican usando una forma modificada de la fracción de tiempo, el método de equivalencia (Stout, and,

Zobeck., 1996). Entonces vale decir que las fluctuaciones de la humedad, son agentes importantes para la tasa de flujo eólico, y pierde consistencia entonces la idea acerca de la dependencia de las variaciones del flujo eólico a consecuencia solamente de variaciones en la intensidad del viento

Algunos autores afirman que la dirección principal del viento globalmente hablando, es la SW, y que en la mayoría de casos sus intensidades se incrementan a partir de las 12:20 de la tarde, y que entre las 10:45 y 12:00 del mediodía, las intensidades de vientos muestran sus valores más bajos, Los efectos dinámicos de la humedad en el arrastre y el transporte de arenas por el viento (Wiggs *et al.*, 2011); afirmaciones que no coinciden plenamente con lo presentado en este trabajo.

5.2.- RASGOS MINERALOGICOS Y MORFOMETRICOS

El mineral de cuarzo y feldespato están presentes en la mayoría de las rocas que constituyen la corteza terrestre, y por ende en cada depósito eólico encontramos estos minerales, producto de la erosión eólica de las rocas sedimentarias, ígneas, metamórficas o volcánicas.

La mineralogía y forma de estos granos varía según la historia genética de la roca, y de su contexto evolutivo tectónico y sedimentario, adecuándose la textura de sus granos minerales a los esfuerzos que sufre la roca en sí.

De acuerdo al recorrido, a la intensidad de la erosión, y a la cantidad de agentes a los que estén expuestos estos granos minerales, pueden presentar diferentes fases de alteración, cosa que se hace mas visible en los feldespatos, ya que las iridiscencias o tonalidades al microscopio, nos dan un indicativo de esto; cuestión que no se hace visible en el cuarzo, salvo por la morfometría que también es mas acentuada en los feldespatos, pero que en los cuarzos es también considerada para poder determinar el grado de erosión, ya que algunos de estos granos pueden presentarse redondeados o angulares, existiendo escalas de intensidad entre ambos.

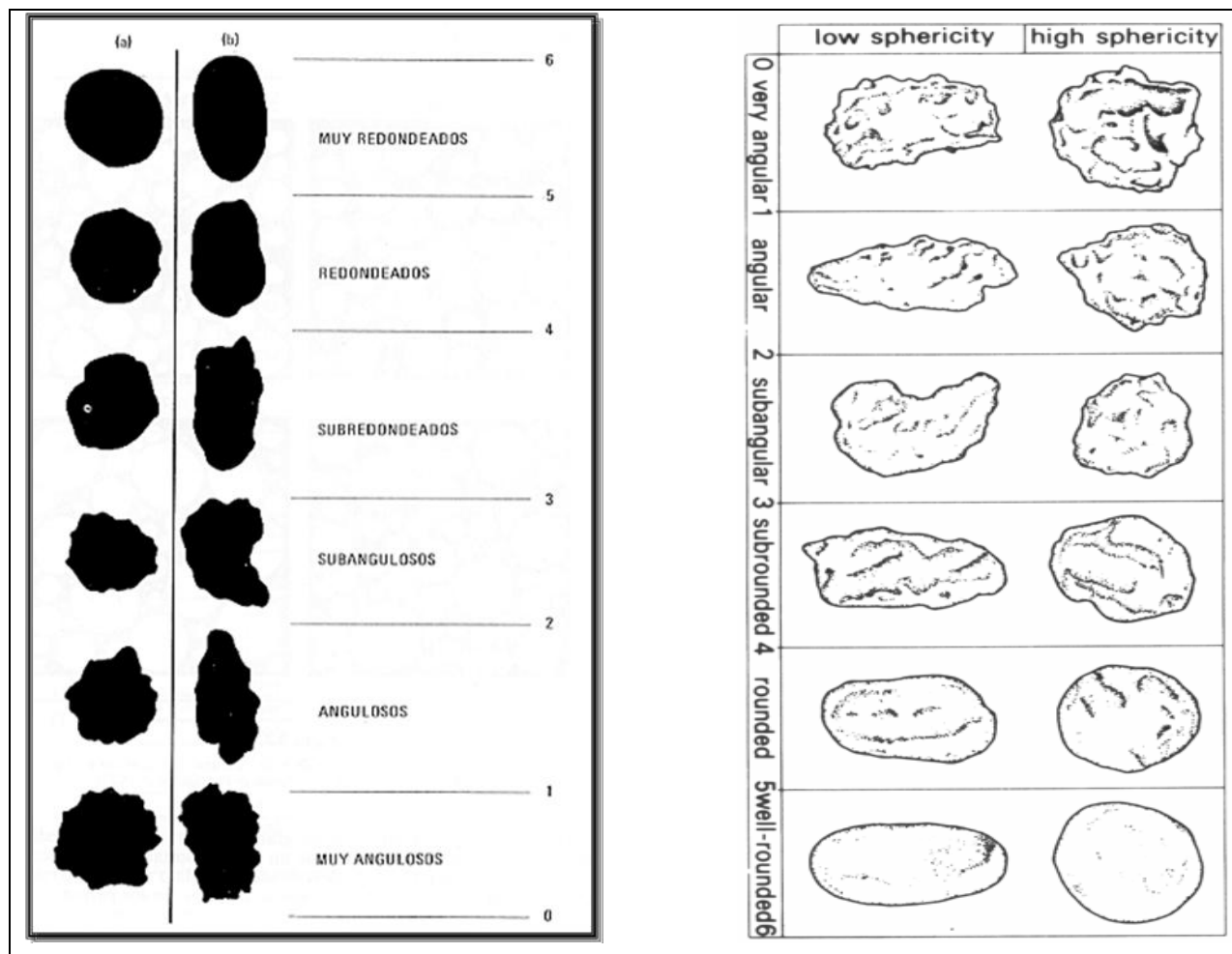


Fig. N° 7. Cuadros de esfericidad y redondez (Tucker 1991)

Debemos entonces también tener en cuenta que el reconocimiento de la roca fuente (tenemos cerca rocas precámbricas, paleozoicas y terciarias), es sólo para saber de donde provienen los materiales félsicos, ya que para poder tener una muestra de los minerales que han sido erosionados de las rocas fuente debemos hacer un muestreo de los sedimentos que están depositados y no de los que están en las cajas eólicas ya que estas cajas solo captan los minerales que se movilizan en el día a día y que están siendo movilizadas constantemente en la superficie y, por efectos de gravedad los minerales pesados (que por su resistencia a la erosión del recorrido se pueden encontrar) siempre están debajo de éstos félsicos y no son captados en las cajas eólicas, por lo tanto no encontramos minerales pesados en las cajas eólicas por mas que contengan el tamaño estándar promedio para poder entramparse ya que por su densidad y peso, no pueden ser movilizadas y se encuentran por debajo por efectos de la gravedad, (hacer la prueba con un poco de arena en una taza de agua, agitarlas y se puede observar que sólo me quedan los félsicos encima)

5.3.- GRANULOMETRIA

El proceso de la granulometría se aplica, de forma general, para la separación porcentual de los granos de todo tipo de suelos o depósito sedimentario; precisamente para determinar el mismo, mediante este método se realiza la cuantificación de cada tamaño de grano existente en un depósito sedimentario para luego analizar la morfología de los mismos y con ello llegar a determinar el tipo de suelo, y nos da un dato adicional para determinar el tipo de depósito sedimentario previa revisión de su mineralogía. Por ello, la granulometría constituye el primer paso importante en la realización de este trabajo de investigación, y su desarrollo efectivo constituye el éxito del mismo.

Millimeters (mm)	Micrometers (μm)	Phi (φ)	Wentworth size class	Rock type
4096		-12.0	Boulder	Conglomerate/ Breccia
256		-8.0	Cobble Pebble Granule Gravel	
64		-6.0		
4		-2.0		
2.00		-1.0		
1.00		0.0	Very coarse sand	Sandstone
1/2	0.50	1.0	Coarse sand	
1/4	0.25	2.0	Medium sand	
1/8	0.125	3.0	Fine sand	
1/16	0.0625	4.0	Very fine sand	
1/32	0.031	5.0	Coarse silt	Siltstone
1/64	0.0156	6.0	Medium silt	
1/128	0.0078	7.0	Fine silt	
1/256	0.0039	8.0	Very fine silt	
0.00006	0.06	14.0	Clay	Claystone

Tabla N° 1. Cuadro de granulometría (Wentworth, 1922)

5.4.- TRANSPORTE DE PARTICULAS SEDIMENTARIAS

Una de las razones (Bagnold 1938) para encontrar la respuesta a la diferencia de velocidades que necesitan los sedimentos según su tamaño de granos para transportarse, es la aerodinamicidad suave que poseen las capas compuestas de granos de arena “muy finos” que protege y aleja la turbulencia del viento, esto hace que se necesite mayores velocidades de viento para movilizar este tipo de tamaño de granos, Bagnold explica en el transporte marino (realizando una analogía) por qué los granos más finos como limos y arcillas siendo mas finos que las mismas arenas muy finas, y por lo tanto supuestamente componiendo capas muchos mas suaves y lisas, necesitan para su movilización de mayor grado de fuerza. Bagnold estima 15 cm/s para movilizar arenas muy finas, mientras que las arcillas y limos, así como las arenas medianas y gruesas necesitan de 40 cm/s. Bagnold compara mucho el transporte marino y eólico y encuentra muchas similitudes en la tendencia del transporte de los sedimentos, pero a la vez encuentra diferencias enormes en la densidad y viscosidad (ley de stokes) de ambos ambientes de transporte, para lo cual anota un ejemplo con el cuarzo : “un grano de cuarzo de 0.1 mm puede transportarse en el mar a aproximadamente 0.9 cm./s de acuerdo a la ley de stokes mientras que a través del viento es 70 veces mas rápido, a 60 cm./s” . Por lo tanto dicta que el movimiento de las arenas depende mucho de los vientos, la densidad, la viscosidad, pero no es una función lineal, porque el tamaño de grano no es correlacionable, es más asociado a una función de fuerza, similar a la usada en el medio marino.

La formación de las arenas es debido a las corrientes submarinas y a la convergencia de estas con las líneas de playa costeras (Broggi, 1952) cuando encuentran un impedimentos en su recorrido, se depositan, dando lugar a las dunas costeras y playas arenosas, además el aporte de las rocas submarinas en un erosión aportan mínima cantidad de arenas siendo mayor el aporte de las arenas fluvialmente transportadas que se depositan en el mar y que con las corrientes submarinas y las turbulencias que genera la corriente peruana, se depositan en las playas y caletas, de Sur a Norte, disminuyendo su sedimentación y cantidad conforme van avanzando en línea subparalela hacia el Norte. Cuando los ríos llevan estas arenas al mar, también se extienden hacia las planicies y el viento las lleva hacia las playas. Los sedimentos de menor tamaño que las arenas no se depositan en las playas porque debido a su tamaño sólo se sedimentan en zonas donde no hay corrientes marinas ni eólicas y que no generen movimientos fuertes, es decir en zonas mar adentro.

El viento es capaz de erosionar rocas con alto grado de alteración, y de ocasionar abrasión eólica en superficies topográficas a desnivel y ordenar las partículas y desplazarlas

fundamentalmente en función de la velocidad del viento, el tamaño de grano y las variables meteorológicas tales como la humedad, la temperatura y la presión, es así como el transporte de partículas de mayores tamaños o de minerales pesados son movilizados por rodamiento.

En las regiones cálidas las corrientes de viento pueden desplazarse a grandes altitudes y llevar en suspensión las partículas finas de la superficie por donde circulan, esto ocurre en Paracas, generando en su masa contactos e impactos que resultan en formas redondeadas con microscópicas fracturas.

El transporte de partículas horizontal, que se realiza por saltación y el transporte de partículas vertical y luego movilizadas que es el de suspensión, están ligadas dinámicamente y físicamente, ya que las partículas menores de 20 micras necesitan ser movilizadas y disgregadas por acción de las partículas de mayor tamaño que al chocar con éstas, producen una fuerza mayor que el grado de cohesión que une estas partículas más finas (Alfaro et al 2004). Las formas conocidas de transporte son:

- Arrastre

El rodamiento es la forma más común como se trasladan los minerales pesados y demás minerales presentes en los sedimentos eólicos, dependiendo de su densidad, sus características conjuntas, y la intensidad del viento que las traslada.

- Saltación

La dinámica de las partículas sigue la dirección del viento, y durante su recorrido rebotan continuamente en la superficie generando energía cinética para luego volver a retomar la dirección que ejerce el viento que lo moviliza. Esta transferencia de energía hace que al contacto con otros granos, éstos se rompan y se eleven a la superficie cumpliendo la misma dinámica de la masa que se moviliza.

- Suspensión

La turbulencia del viento atrapa las dimensiones más pequeñas del grupo de partículas como son el limo y la arcilla, y es capaz de movilizarla a grandes distancias, y a alturas de hasta 200 metros, con velocidades de hasta 200 m/s y estimándose el movimiento de 1.000 millones de toneladas de partículas finas por año, tomándose en cuenta sólo la dinámica de los desiertos de todo el mundo.

CAPÍTULO VI: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

6.1. ETAPA DE CAMPO

6.2. ETAPA DE GABINETE

CAPITULO VI: METODOLOGÍA

6.1.- Etapa de campo

Para la correcta ubicación de la EEE (estación experimental eólica) se realizó un recorrido por la costa y playas de la zona correspondiente a la Península de Paracas y la Bahía de la Independencia, desde la playa Morro Quemado por el sur, donde afloran rocas intrusivas del Paleozoico hasta la Reserva Nacional de Paracas (RNP) por el norte.

El objetivo de esta etapa fue la de determinar la mejor ubicación de la Estación Eólica Experimental considerando, una dirección de vientos variante entre SSW-NNE y SSE-NNW y ocurrencia de sedimentos eólicos con granulometrías entre 60mm y 80mm, acorde con la inferida dirección predominante (determinada in situ) y la granulometría que debían presentar los sedimentos eólicos transportados hacia la bahía (según investigaciones anteriores), para ello se realizó un muestreo exploratorio de sedimentos eólicos y se analizó su relación con las geoformas a fin de determinar la ubicación de corredores eólicos (unidades geomorfológicas que permiten el encauce y direccionamiento de los vientos), con ejes entre direcciones SSE-NNW y SSW-NNE.

Para este fin se procedió al muestreo de los sedimentos eólicos en las áreas potencialmente adecuadas para luego ser analizadas en el laboratorio de Geología Marina de IMARPE identificándose aquellos sedimentos que cumplían con presentar las granulometrías adecuadas (60-80 micras). En función a este resultado y la evolución geomorfológica del terreno se determinó el lugar apropiado para la instalación de la estación experimental eólica.

La Península de Paracas fue designada como el lugar más apropiado para la instalación de la Estación Eólica Experimental (Coordenadas UTM: E 364523 – N 8466374); la parte sur de esta Península se encuentra delimitada por muchos corredores eólicos, la ubicación de algunos cerros de grandes dimensiones y altitud (por su tamaño) marcan el tamaño y la importancia de estos corredores eólicos, tales como los Cerros Colorado al este y oeste de la estación meteorológica; al sur tenemos al Cerro el Arquillo, y hacia el Norte tenemos el Museo de sitio de Paracas “Julio C. Tello” y las playas el Carmen y las Palmeras

ANEXOS

Secuencia de fotos colecta de sedimentos eólicos



Foto N°1-2 Secuencia de colecta de sedimentos eólicos

La consecución del lugar idóneo para la instalación de la EEE, llevó a la ubicación de la misma en una posición adecuada para la captación del sedimento en suspensión que se transporta hacia la bahía; las trampas eólicas adheridas al mástil fueron diseñadas sólo para la captación de sedimentos entre los 2mm y 64 micras, es decir las arcillas, limos y gravas no son almacenadas en este mecanismo captador de sedimento salvo aglutinamiento natural por condiciones físicas que les dan el tamaño adecuado para su transporte, tal como sucedió en este lugar de investigación y que son explicadas más adelante. La frecuencia de la colecta de los sedimentos se realizó mensualmente aproximadamente desde el 25 de Mayo hasta el 11 de Noviembre del año 2008 (se realizaron correcciones por la inexactitud de la frecuencia mensual de colecta); la frecuencia de colecta de los sedimentos se definió por iniciativa grupal tomando en cuenta el tipo de dinámica del viento en esta zona, infiriendo aproximadamente 30 días como un lapso adecuado para poder tener un accesible descargue de los sedimentos de la trampa eólica hacia las bolsas de polietileno, además se tomó en cuenta la frecuencia con la que trabajan las estaciones meteorológicas y la frecuencia con la que presentan sus datos; siendo esto importante para la comparación y cotejo de datos con otros lugares interesantes de flujos eólicos, estas premisas y condiciones se comprobaron en la primera colecta ya que los sedimentos eran cómodamente codificados en el espacio que nos permitían las bolsas de polietileno.

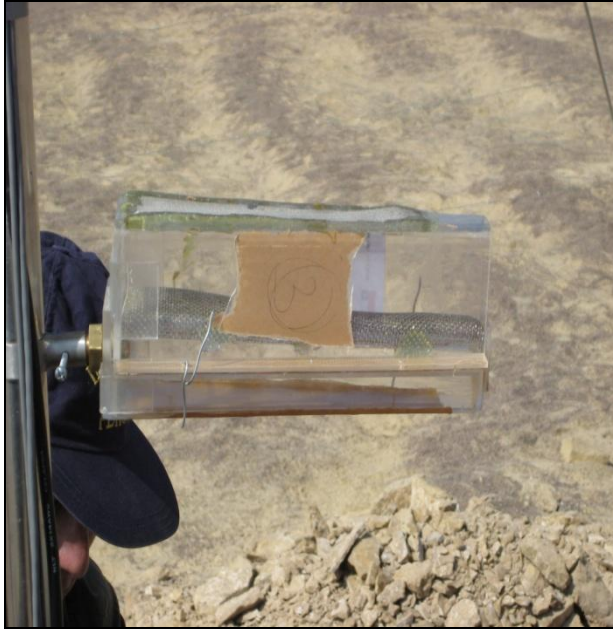


Foto N° 3 Caja eólica vista lateral



Foto N° 4 Caja eólica vista frontal

Se usaron además de las bolsas de polietileno, alicates para desajustar las cajas o trampas eólicas, pinceles y brochas para verter la totalidad del sedimento entrampado (causó cierta dificultad ya que con la intensidad del viento es incómodo e impreciso verter la totalidad de los granos más finos, que pueden perderse por este motivo); se acordó por motivos meteorológicos inadecuados, realizar la colecta de los sedimentos de las trampas eólicas en horarios matutinos, horario en el que el viento presenta menor intensidad (a partir de las 3 o 4 de la tarde se empieza a incrementar la intensidad). Además de esta colecta de sedimentos, se hacía uso de una computadora portátil en donde almacenábamos los datos que se registraban en el data logger y poder de esta manera hacer efectiva la correlación de datos meteorológicos con la cuantificación de los sedimentos entrampados y su caracterización posterior.

6.1.1.- Diseño e instalación de Estación Eólica Experimental

1. Se adquirieron y ubicaron estratégicamente cada uno de los componentes de la EEE. En el caso del data logger y el convertidor de energía eléctrica (que se adquiría gracias al panel solar) fueron ubicadas dentro de una caja metálica aislándola de la corrosión que podría originar la arena y gracias a esto permitirles un mayor tiempo de funcionamiento; de la misma manera el panel solar fue ubicado en una posición de 30° de inclinación con dirección al este con la intención de capturar energía solar la mayor

cantidad de tiempo posible, teniendo en cuenta que la energía solar es más intensa durante la mañana y disminuye hacia las 3 de la tarde.

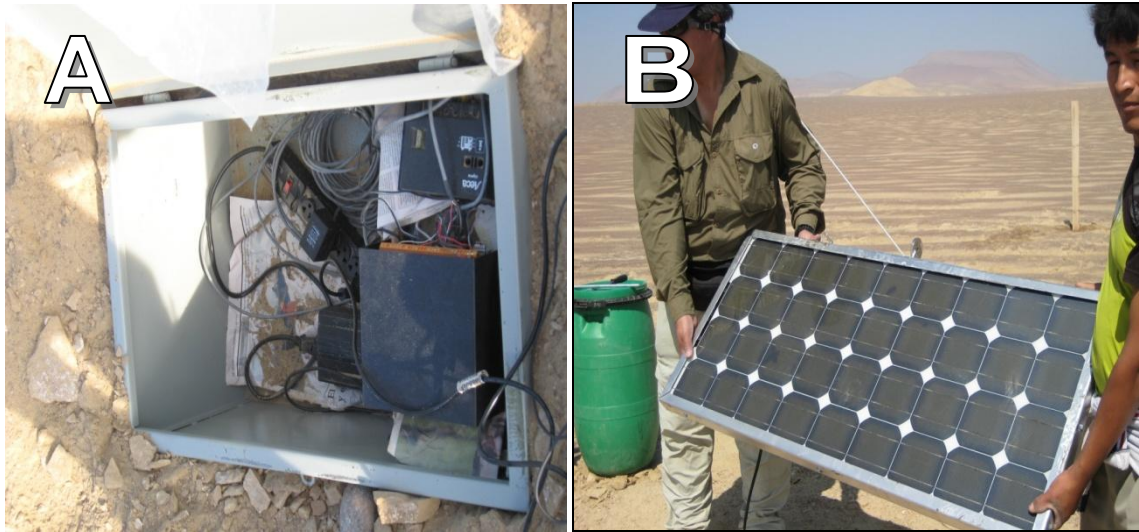


Foto N° 5 Instalación del data logger (A) y Colocación del panel solar (B)

Para que el sistema de la EEE funcione se necesitó de un mástil de fierro galvanizado, con piezas de rodaje (las cuales fueron finalmente suplantadas por piezas fijas, no haciéndose uso de ellas) y fijas adheridas a él para el sostenimiento de las cajas captadoras de sedimento eólico, las cuales fueron hechas de madera, acrílico, y mallas de metal con aberturas de 62.5mm y 2mm para capturar sólo arena; éstas fueron ubicadas a 14.2cm, 58.4cm y 107.4cm de distancia desde la superficie y en dirección S – N hacia la bahía de Paracas con el objetivo de captar la mayor cantidad de sedimentos eólicos que se movilizan hacia ella.

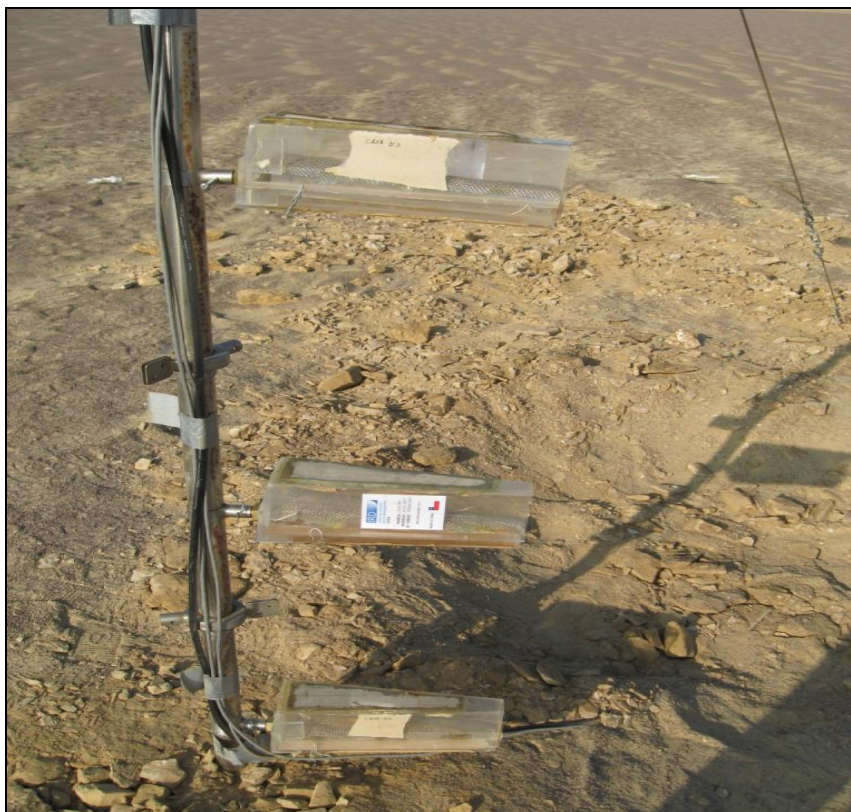


Foto N° 6 Cajas eólicas dispuestas cada 50 cm aproximadamente

En la parte superior de del mástil se ubicó un anemómetro que transmitía la información de las variaciones en sus direcciones, a la caja registradora de datos; y el panel solar ligeramente inclinado hacia el este, a 1.50m de la superficie, entre ellos se colocó el sensor de humedad y temperatura. En la foto N° 7 podemos observar las ondas que se forman por efecto del viento y la dirección de las mismas (S-N)

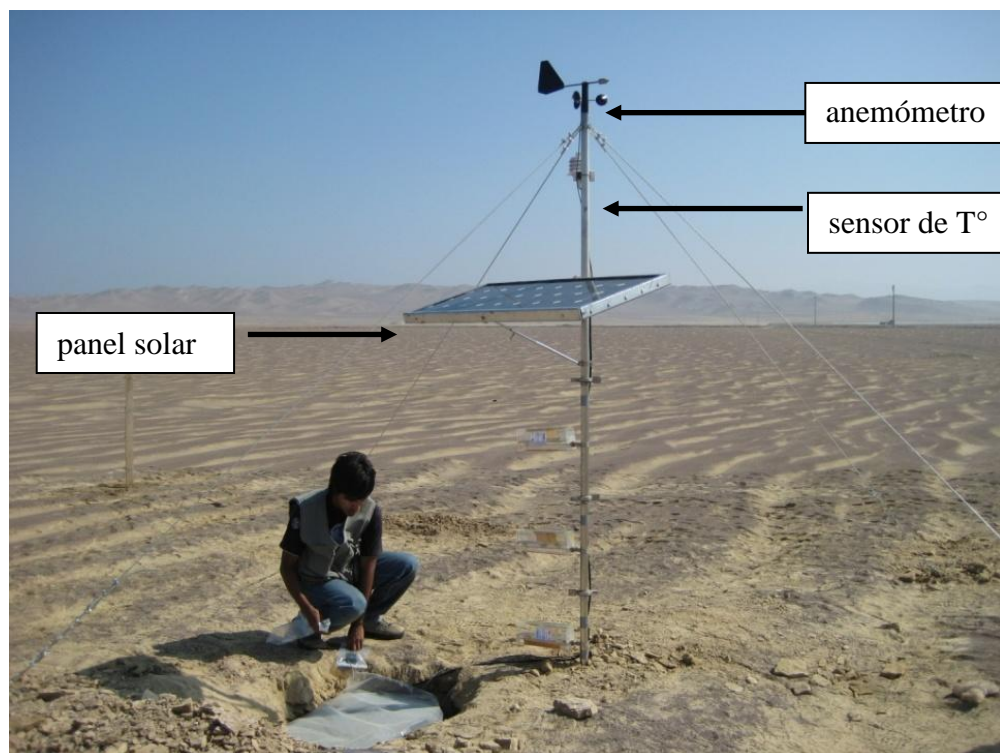


Foto N° 7 Panel solar, sensor de temperatura y anemómetro

Por razones de seguridad se construyó un cerco de alambre con púas y pilares de madera, colocando también alambres galvanizados de tensión para darle estabilidad y verticalidad a la EEE. Finalmente se procedió al pintado y barnizado de la estructura para evitar el impacto visual que se tuvo como condición de parte del INRENA para su construcción,

6.1.2.- Materiales empleados en la construcción de la estación eólica

- | | |
|--|---|
| - Anemómetro | - Cajas entrampadoras de arenas eólicas |
| - Sensor de temperatura y humedad relativa | - Batería seca |
| - Sensor de presión | - Inversor eléctrico |
| - Data logger (almacenador de datos) | - Convertidor de voltaje |
| - Mástil acerado | - Panel solar |

6.1.3.- Materiales empleados en la colecta de muestra

- | | |
|--------------------|------------------------------------|
| - Libreta de campo | - Planos topográficos y geológicos |
| - Brújula | 1:100000 |
| - GPS | - Lupa 20x |



Foto N° 8 Estación Experimental Eólica

6.2.- Etapa gabinete

Con los sedimentos colectados en las bolsas de polietileno, el recorrido es hasta los laboratorios del Instituto del Mar del Perú, Las muestras colectadas de las cajas entrampadoras de arenas se procesaron mediante el método de granulometría por tamizado el cual se realizó en el laboratorio de Geología Marina de IMARPE. Para el estudio de texturas se analizó estas fracciones al microscopio petrográfico. Para la identificación de minerales de arcillas se utilizó difracción de rayos X en INGEMMET

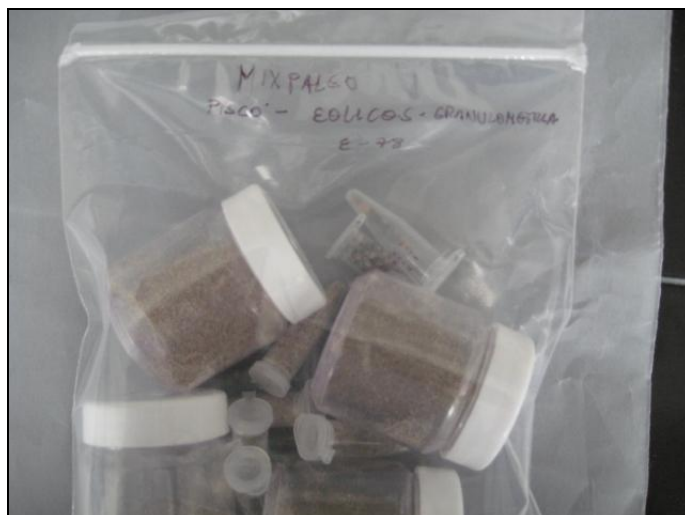


Foto N° 9 Muestras de cajas eólicas separadas según distancia de la superficie

Para la descripción mineralógica de los sedimentos se realizaron los siguientes pasos:

- a) Uniformización: Sobre un papal metálico y ayudado de la espátula se mezclan los granos del sedimento que han sido recogidos de Paracas, ya que al ser colectados y transferidos desde la superficie del depósito sedimentario o suelo hacia otro lugar, es posible que ocurra la separación por peso y densidad de los granos. Si la uniformización no se lleva a cabo, al cuartear estos sedimentos en el laboratorio generaría un error, ya que podríamos separar 50 gramos de solo un tamaño específico de grano.



Foto N° 10 Sedimentos para su uniformización

Cuarteo: En el laboratorio se coloca el sedimento sobre un papel aluminio y se separa en 4 partes iguales (cuarteo) con ayuda de una espátula, se separa en cantidades similares, una para su estudio petrográfico (A), otra para analizar materia orgánica(B), otra muestra para analizar minerales pesado(C) y otra para tener de duplicado en caso haya algún extravío(D); el peso de la muestra a caracterizar (la cuarta parte del total) varió entre los 40g y 50g según el caso ya que no todas las cajas entrampadoras de arena tienen la misma capacidad de almacenamiento debido a la diferencia de alturas a la que están expuestas.

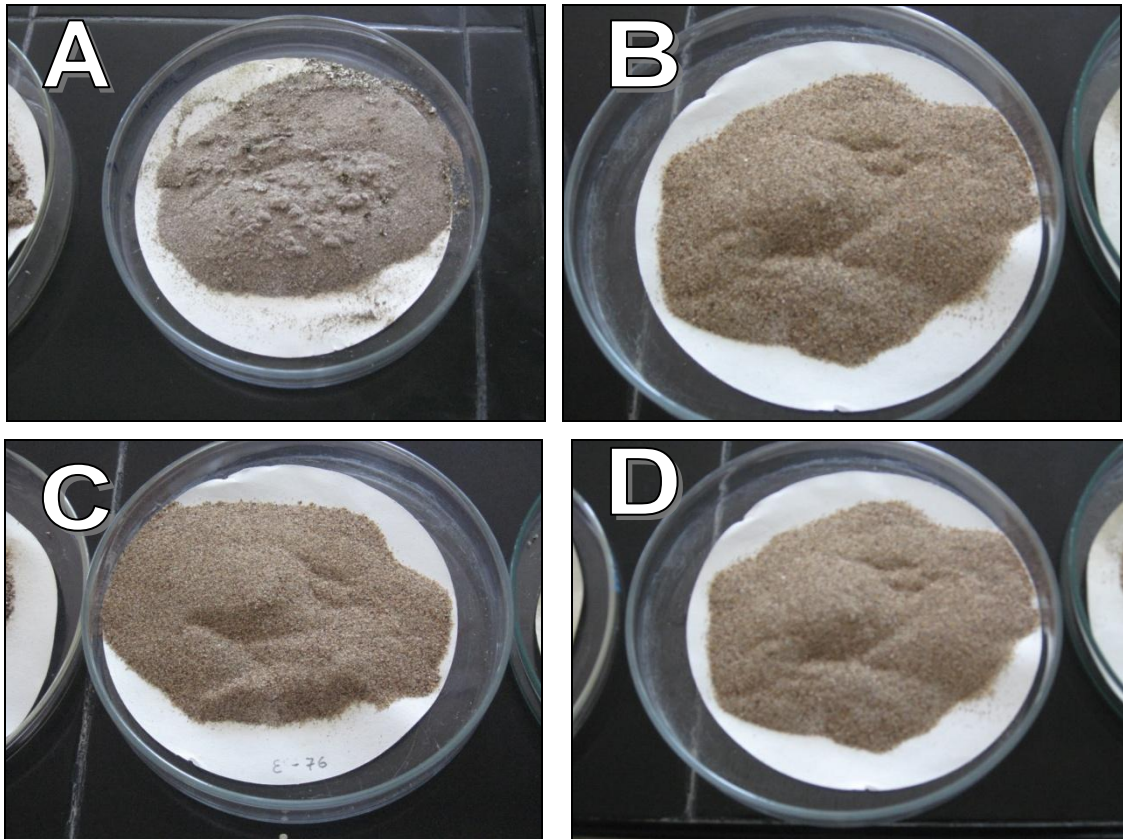


Foto N° 11 Cuarteo de sedimentos

- b) Eliminación de materia orgánica: En este punto encontré ciertas discrepancias de criterio metodológico, ya que el hecho de separar la materia orgánica, genera el cambio en la granulometría del sedimento, por lo que el tamiz separará granos afectados químicamente y no los del tamaño que realmente han sido movilizados por el viento. En esta trabajo se eliminó la materia orgánica para tener como elementos de estudio solamente el sedimento arenoso por lo que podríamos considerar, que tendremos un porcentaje menor de sedimento del que comúnmente es movilizado por el viento. El total del sedimento acumulado fue pesado sin eliminar la materia orgánica, antes de someterla a la granulometría. Aunque el haber sometido al sedimento a esta eliminación

orgánica nos limitará en el verdadero porcentaje de tamaños de grano acumulados, no lo hará en el total del sedimento capturado por las cajas eólicas.

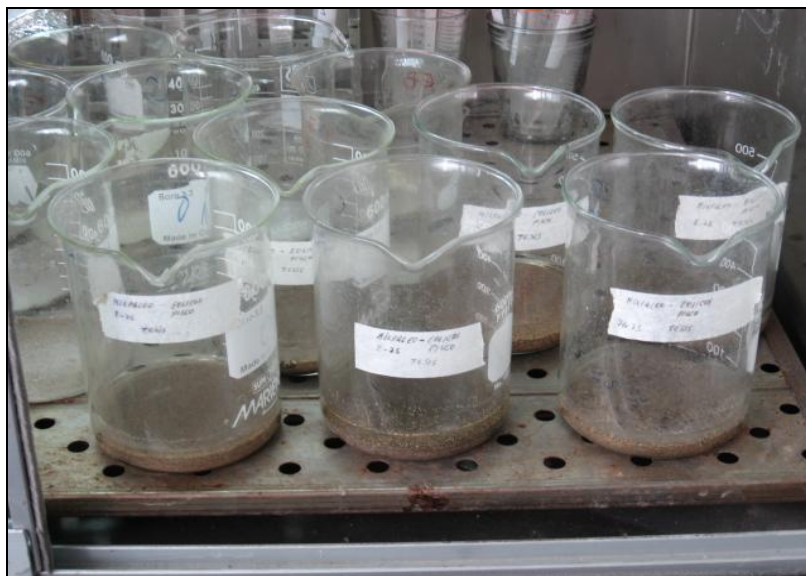


Foto N°12 Eliminación de materia orgánica

- Se realizó la preparación técnica de la muestra para la posterior realización de la sección delgada
- Se separó por 6 a 10 campos, las partes de la sección delgada, para el reconocimiento mineralógico más detallado de la mayor cantidad de granos obtenidos.
- Se tomaron las fotos de las muestras vistas desde el microscopio y se trabajó con las escalas micrométricas del mismo
- Se determinó los ratios cuarzo/feldespato de un total de 1683 granos contados por muestras(es decir por caja eólica)
- Para poder evaluar las implicancias en el aporte de estos sedimentos al mar, e integrar toda la información obtenida se usaron softwares como el SPSS, GIS, Excel, Adobe Ilustrador, Word, Corel Draw, Google Earth, y se trabajaron con imágenes satelitales y fotos aéreas.

Para eliminar la materia orgánica y separar los granos unidos por parámetros físicos se realizaron las siguientes técnicas:

- Peróxido de hidrógeno: Elimina la materia orgánica, se le añade 10 ml de peróxido de hidrógeno
- Hexametafosfato de sodio: Se le añade 20 ml de hexametafosfato de sodio El hexametafosfato de sodio o dispersante nos permite la descompactación de aquellos granos que están siendo afectados por factores físicos y no se presentan como granos individuales, así como la separación de la fracción arcilla y limo.

6.2.1 Materiales de laboratorio

- | | |
|----------------------------|-----------------------|
| • Agitador mecánico | • Papel aluminio |
| • Columna de tamices | • Balanza |
| • Peróxido de sodio | • Pipeta |
| • Hexametafosfato de sodio | • Probeta |
| • Estufa | • Agua destilada |
| • Horno | • Embudo de porcelana |
| • Beekers | • Pincel o brocha |
| • Papel canson | |

6.2.2.- Tamizado (granulometría)

El tamizado es la técnica que se desarrolla para obtener la granulometría y de esta manera tener los porcentajes de arenas gruesas, arenas finas, limos y arcillas que existen en cada zona de muestreo. Se usa una columna de tamices de mallas de 2mm hasta 63um y el sedimento que pasa al final de esta malla es preparado para realizar la granulometría de arcillas con la técnica del pipeteo.

Malla	phi	mm	micras	escala wentworth
10	-1	2	2000	arena muy gruesa
14	-0.5	1.41	1410	
18	0	1	1000	arena gruesa
25	0.5	0.71	710	
35	1	0.5	500	arena mediana
45	1.5	0.35	350	
60	2	0.25	250	arena fina
80	2.5	0.177	170	
120	3	0.125	125	arena muy fina
170	3.5	0.088	88	
230	4	0.0625	62.5	

Tabla N° 2 Medidas granulométricas para arenas



Foto N° 13. Columna de tamices

6.2.3.- Pipeteo

El pipeteo es la técnica que se usa para separar las fracciones de limo y arcilla, siendo ésta última la que nos interesa cuantificar para luego analizarlo con el difractómetro y reconocer los picos de cada mineral encontrado mediante un difractograma



Foto N° 14 Decantación de arcillas

6.2.4.- Petrografía

La morfología y morfometría de los granos de arena que encontramos en el desierto nos dan una idea del transporte al que ha sido sometido; así como reconocer el mineral formador de roca está presente, es por esto importante analizarlo mediante un microscopio petrográfico

Los círculos en blanco son los campos de visión para sección delgada en amarillo y en celeste.

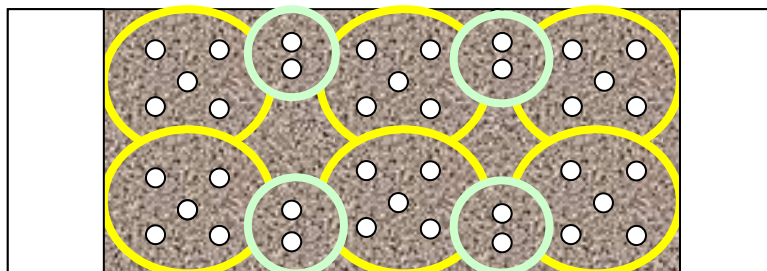
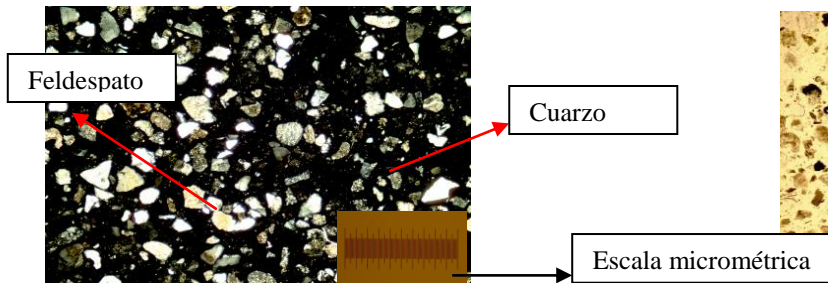


Fig. N° 8. Ejemplo de toma de campos visuales de observaciones microscópicas

Fotografías de las secciones delgadas de los sedimentos colectadas en las cajas entrampadoras ubicadas en la península de Paracas

Observación en nicoles cruzados



Observación en nicoles paralelos

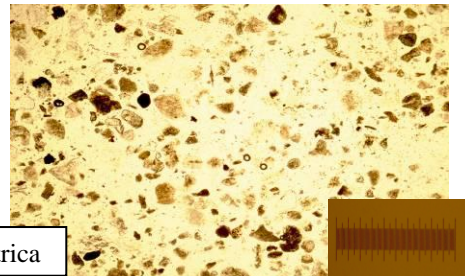


Foto N° 9. Arenas entrampadas a 14.2 cm. de altura de la superficie del terreno de la península de Paracas

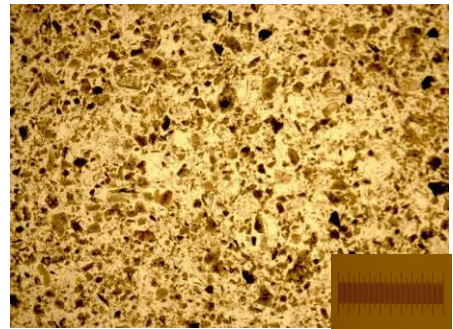
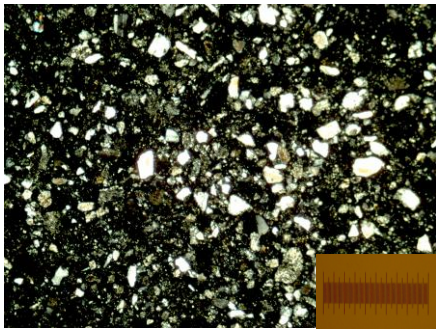


Foto N° 10. Arenas entrampadas a 50.4 cm. de altura de la superficie del terreno de la península de Paracas

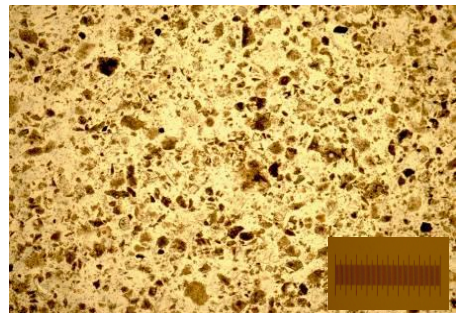
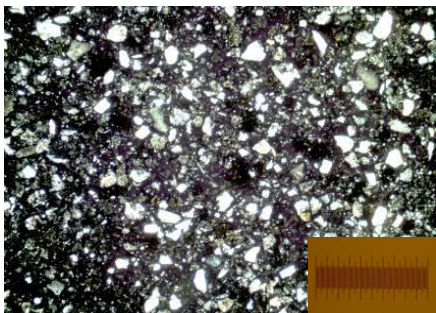


Foto N° 11. Arenas entrampadas a 107.4 cm. de altura de la superficie del terreno de la península de Paracas

6.2.5.- Difractometría

Se trata de una técnica de análisis cualitativo semicuantitativo (no destructiva) que permite, entre otras, identificar los componentes cristalinos minerales.

CAPÍTULO VII: RESULTADOS E INTERPRETACIONES

7.1. RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS SEDIMENTOLOGICOS EN PARACAS:

GRANULOMETRIAS, MINERALOGIA Y MORFOMETRIA DE LAS ARENAS
EOLICAS ENTRAMPADAS EN LA ESTACION EOLICA EXPERIMENTAL

7.1.1. GRANULOMETRIA

7.1.2. MINERALOGIA

7.1.3. MORFOMETRIA

7.2. RELACIÓN ENTRE CUARZOS Y FELDESPATOS RESPECTO A LA INFLUENCIA CLIMÁTICA

7.2.1. RESULTADOS METEOROLÓGICOS

7.2.2. DIRECCIÓN E INTENSIDAD DE LOS VIENTOS

7.3. ANOMALÍA DE VIENTO PARACA

7.4. RELACIÓN ENTRE LA DINAMICA DE LOS SEDIMENTOS Y LAS VARIABLES METEOROLOGICAS

7.4.1. TASA DE ACUMULACIÓN DE LOS SEDIMENTOS EÓLICOS

7.4.2. FLUJOS SEDIMENTARIOS EÓLICOS

7.4.3. DIFRACTOMETRIA DE RAYOS X

CAPÍTULO VII: RESULTADOS

7.1.- RESULTADOS DE LOS ESTUDIOS SEDIMENTOLOGICOS EN PARACAS: GRANULOMETRIA, MINERALOGIA Y MORFOMETRIA DE LAS ARENAS EOLICAS ENTRAMPADAS EN LA ESTACION EOLICA EXPERIMENTAL

7.1.1. GRANULOMETRIA

- De los 5 intervalos de colecta sólo se pudo realizar la granulometría mediante la técnica del tamizado en los 3 últimos intervalos de tiempo, donde la intensidad del viento fue mayor y se pudo capturar sedimentos eólicos suficientes para ello, sólo en las cajas más cercanas a la superficie (de estos 5 intervalos de tiempo, en el último (7 Nov-12 Ene) no se llegó a realizar la mineralogía y morfometría)
- En los meses de Agosto y Septiembre hasta Enero del 2009 se registró una mayor acumulación de sedimentos eólicos debido a mayores intensidades de vientos registradas también por los sensores meteorológicos y el tamizado dio como resultado la mayor presencia de granos finos y muy finos.
- La mayor concentración de arenas finas a muy finas sustenta la hipótesis acerca de que la dinámica de las arenas es mayor en el rango de estos tamaños de arenas independientemente de las intensidades de viento y de sus velocidades y factores climáticos, ya que en todos los meses de muestreo esto fue una constante.
- El mes de Septiembre se muestra como el mes donde se suscitaron la mayor concentración de sedimentos eólicos en las cajas entrampadoras, que precisamente fueron los meses que se suscitaron la mayor cantidad de eventos Paraca y con las intensidades más fuertes de viento
- Hay una gran diferencia entre la cantidad almacenada en las cajas cerca de la superficie y las mas distales de ella, con lo que se comprueba la dinámica de las partículas y sedimentos en saltación es mayor que las que almacenan las partículas en suspensión
- Los granos predominantes son los de 90 a 125 micras.
- La arena gruesa y muy gruesa es la que menor presencia tiene en los sedimentos entrampados en las cajas eólicas.
- Los limos y arcillas a pesar del diseño de las cajas entrampadoras de arenas también fueron entrampados debido a la formación de concreciones por el ambiente húmedo y la presencia de sal, que les daban un tamaño mayor, esto generó la consecución de material arcilloso que fue luego separado del material limoso, realizándose luego la difracción para conocer su composición.

- La acumulación de sedimentos arcillosos fue mayor en el lapso del 7 de Noviembre al 12 de Enero, registrándose la menor acumulación de material arcilloso en los meses del 27 de Septiembre al 7 de Noviembre.
- Las arenas de 125 micras de diámetro fueron las de mayor predominio en la acumulación de sedimentos eólicos en el mes (Septiembre) que registró fenómenos de viento Paraca.
- Las arenas de 88 micras predominan en la acumulación de sedimentos entrampados en los meses del 7 de Noviembre al 12 de Enero, sin embargo en estos meses la intensidad del viento fue menor.
- Las arenas de 1410 a 2000 micras no fueron capturadas por las cajas eólicas en ninguno de los 5 intervalos de tiempo de colecta.

Con los sedimentos almacenados en las cajas eólicas más cercanas a la superficie del terreno, se pudieron realizar las técnicas granulométricas y tener un indicador del predominio del tamaño de arenas que son movilizados en la península de Paracas. En los cuadros a continuación damos a conocer los resultados de estas técnicas granulométricas que sin embargo no se pudieron realizar con las demás cajas eólicas, limitándonos a la medida con reglas milimétricas mediante el microscopio.

- CUADROS GRANULOMÉTRICOS DE LAS 3 ÚLTIMAS COLECTAS REALIZADAS EN LOS MESES DE SEPTIEMBRE, NOVIEMBRE Y ENERO, DONDE SE REGISTRARON EN LAS CAJAS MÁS CERCANAS A LA SUPERFICIE LAS SUFICIENTE CANTIDAD DE MATERIAL SEDIMENTARIO PARA LA TÉCNICA DEL TAMIZADO.

GRANULOMETRIA CAJA 1 - AGOSTO-SEPTIEMBRE 2008 - EVENTO PARACA						
TAMIZ	Micras(u)	Nº MALLA	PESO RETENIDO	(peso retenido en tamiz/peso total) x 100	porcentaje acumulado	% PASA = 100 – % Retenido Acumulado
-1	2000	10	0	0	0	100
-0.5	1410	14	0	0	0	100
0	1000	18	0.2786	0.23	0.23	99.77
0.5	710	25	0.6191	0.51	0.73	99.27
1	500	35	1.3626	1.11	1.85	98.15
1.5	350	45	4.3823	3.58	5.43	94.57
2	250	60	11.0397	9.02	14.45	85.55
2.5	170	80	28.0753	22.95	37.4	62.6
3	125	120	41.5839	33.99	71.38	28.62
3.5	88	170	25.1205	20.53	91.92	8.08
4	62.5	230	8.2002	6.7	98.62	1.38
limos y arcillas			1.6913	1.38	100	0
total			122.3535	100		

Tabla N° 3. Resultados granulométricos de la caja eólica más cercana a la superficie en época de fenómenos de vientos Paraca

Nótese en el peso retenido la diferencia importante con la acumulación de sedimentos de las demás meses, esto tiene relación con los vientos anómalos suscitado en estos meses que fueron registrados numéricamente con los sensores electrónicos y almacenados en el data logger.

GRANULOMETRIA CAJA 1 - SEPTIEMBRE-NOVIEMBRE 2008						
TAMIZ	Micras(u)	Nº MALLA	PESO RETENIDO	(peso retenido en tamiz/peso total) x 100	porcentaje acumulado	% PASA = 100 – % Retenido Acumulado
-1	2000	10	0	0	0	100
-0.5	1410	14	0	0	0	100
0	1000	18	0.1617	0.65	0.65	99.35
0.5	710	25	0.2504	1.01	1.67	98.33
1	500	35	0.3876	1.57	3.23	96.77
1.5	350	45	0.9197	3.72	6.95	93.05
2	250	60	2.6584	10.74	17.69	82.31
2.5	170	80	5.8018	23.44	41.13	58.87
3	125	120	8.1053	32.75	73.88	26.12
3.5	88	170	4.6742	18.89	92.77	7.23
4	62.5	230	1.5898	6.42	99.19	0.81
limos y arcillas			0.2004	0.81	100	0
total			24.7493	100		

Tabla N° 4 Resultados granulométricos de la caja eólica más cercana a la superficie

En este intervalo de tiempo la tendencia de predominio de las arenas finas continua paralelamente con la cantidad de arcillas y limo almacenado, solo disminuye la cantidad de acuerdo al total retenido en las cajas eólicas, debido a que la intensidad de vientos registrada en esta época fue menor.

GRANULOMETRIA CAJA 1 - NOVIEMBRE-ENERO 2009						
TAMIZ	Micras(u)	Nº MALLA	PESO RETENIDO	(peso retenido en tamiz/peso total) x 100	porcentaje acumulado	% PASA = 100 – % Retenido Acumulado
-1	2000	10	0	0	0	100
-0.5	1410	14	0	0	0	100
0	1000	18	0.44	0.67	0.67	99.33
0.5	710	25	1.84	2.8	3.48	96.52
1	500	35	1.02	1.55	5.03	94.97
1.5	350	45	2.55	3.89	8.92	91.08
2	250	60	4.34	6.62	15.53	84.47
2.5	170	80	9.45	14.41	29.94	70.06
3	125	120	16.49	25.14	55.08	44.92
3.5	88	170	18.84	28.72	83.8	16.2
4	62.5	230	8.26	12.59	96.39	3.61
limos y arcillas			2.37	3.61	100.00	0.00
total			65.6	100		

Tabla N° 5 Resultados granulométricos de la caja eólica más cercana a la superficie

En este intervalo de tiempo hubo un aumento en la cantidad de sedimentos almacenado con la misma tendencia en la acumulación de material fino como predominante en los sedimentos eólicos que son transportados en la península de Paracas.

- **CUADROS GRANULOMÉTRICOS TOTALES Y SU COMPARACIÓN MENSUAL DE LOS SEDIMENTOS ACUMULADOS SEGÚN NIVELES DE ALTURA (CAJAS EÓLICAS) CON RELACIÓN A LA SUPERFICIE DEL TERRENO DE LA PENÍNSULA DE PARACAS**

CAJA EOLICA INFERIOR (caja Nº 1)

Los sedimentos entrampados en la caja Nº 1 son los sedimentos que se trasladan por saltación sobre la superficie y los que nos brindan una marcada notoriedad sobre su mayor importancia en la dinámica de estos sedimentos eólicos, en el cuadro que se muestra a continuación se puede ver que las arenas finas y muy finas son las que mayormente se trasladan a esta altura sobre la superficie, y que son entre los meses de Agosto y Septiembre donde se concentran en mayor cantidad, esto debido a la presencia de vientos Paraca con más frecuencia, duración e intensidad. En la tabla Nº 1 se presentan las granulometrías de los sedimentos eólicos colectados durante los meses de mayo a diciembre del 2008.

DATOS DE CAJAS EOLICAS:

- Caja N° 1 Instalada a 14.2 cm. de la superficie
- Caja N° 3 Instalada a 107.4 cm. de la superficie.

Caja N° 2 Instalada a 58.4 cm. de la superficie
(+)Caja N° 2A^a Instalada a 85.4 cm. de la superficie

TRAMPAS EOLICAS-CAJA N° 1											
escala wentworth	Muestra de arenas micras	(*)Caja 1, 25May- 26Jun08, col.26Jun08		(*)Caja 1, 26Jun- 12Ago08, col.12 Ago08		Caja 1, 12aug- 27sep08, col. 27 Sept 08		Caja 1, 27sep- 07nov08, col. 7 nov 08		Caja 1, 07nov08- 12ene09, col. 12 Ene 09	
		peso (g)	Pctg (%)	peso (g)	Pctg (%)	peso (g)	Pctg (%)	peso (g)	Pctg (%)	peso (g)	Pctg (%)
arena muy gruesa	2000		0,00		0,00	0	0,00	0	0,00	0,00	0,00
	1410		0,00		0,00	0	0,00	0	0,00	0,00	0,00
arena gruesa	1000		0,00		3,00	0,2786	0,23	0,1617	0,65	0,44	0,67
	710		2,00		2,00	0,6191	0,51	0,2504	1,01	1,84	2,80
arena mediana	500		5,00		5,00	1,3626	1,11	0,3876	1,57	1,02	1,55
	350		10,00		10,00	4,3823	3,58	0,9197	3,72	2,55	3,89
arena fina	250		15,00		10,00	11,0397	9,02	2,6584	10,74	4,34	6,62
	170		20,00		18,00	28,0753	22,95	5,8018	23,44	9,45	14,41
arena muy fina	125		25,00		20,00	41,5839	33,99	8,1053	32,75	16,49	25,14
	88		20,00		20,00	25,1205	20,53	4,6742	18,89	18,84	28,72
	62,5		2,00		10,00	8,2002	6,70	1,5898	6,42	8,26	12,59
limo arcilla	limo arcilla		1,00		2,00	1,6913	1,38	0,2004	0,81	2,37	3,61
TOTAL		1.6050 g	100,00	2.1252 g	100,00	122,3535	100,00	24,7493	100,00	65,5993	100,00

Tabla N° 6 Distribución granulométrica de los sedimentos captados en la caja eólica N° 1

	Se midió la granulometría según el microscopio petrográfico debido a la poca cantidad de material insuficiente para hacer la prueba de tamizado, por lo tanto solo se calcularon porcentajes.
(*)	Por contener poca cantidad de arenas, no se pudo realizar la granulometría
(+)	Luego en el mes de Septiembre se añadió otra caja eólica, entre la N° 2 y la N° 3, la cual llamaremos 2A

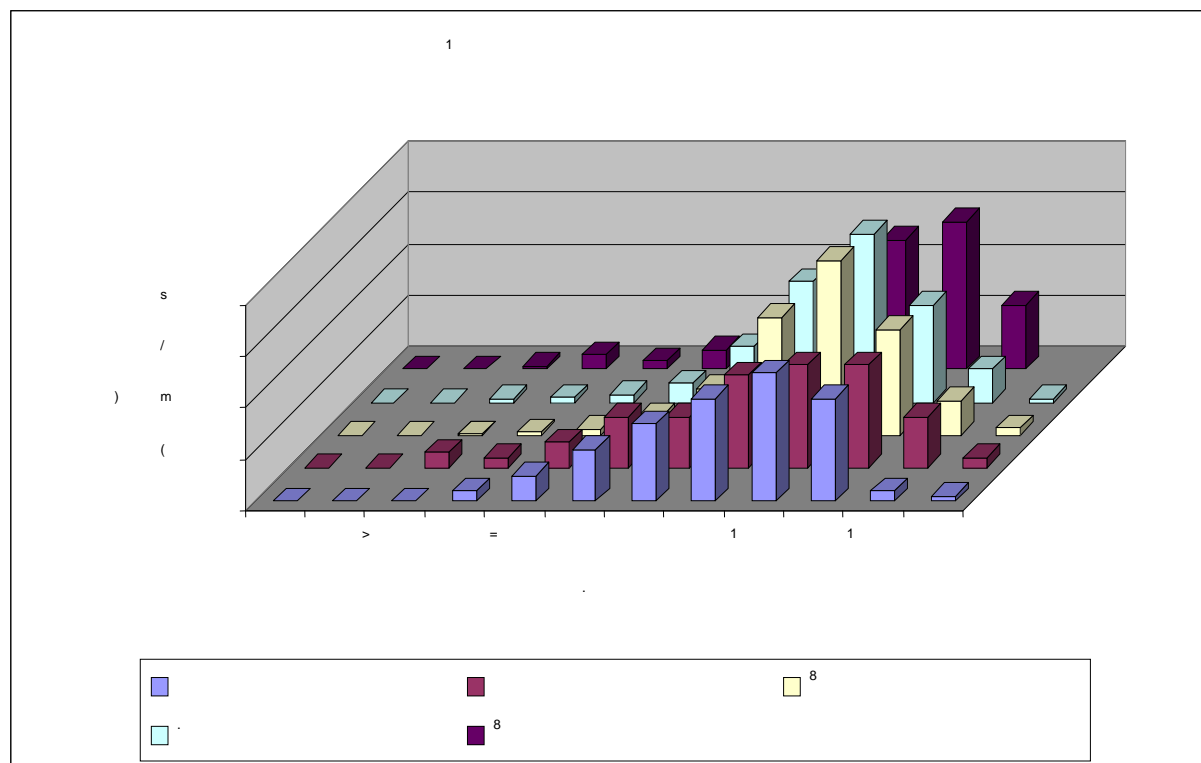


Fig. N° 9. Representación gráfica del tamaño de grano predominante en la colecta de sedimentos

CAJA EOLICA INTERMEDIA (caja N° 2)

Capta sedimentos entre 88 y 98 micras aproximadamente, está ubicada a 58.4cm de la superficie del terreno y los sedimentos que atrapa son trasladados en suspensión, Los porcentajes de arenas muy gruesas a mediana, no son captados con notoriedad e importancia. La dinámica de estos sedimentos es menor en proporción con la cantidad almacenada en la caja N° 1 y sólo empieza a ser importante a partir de la granulometría fina a muy fina, lo que se repite en la granulometría de la caja N° 1; sin embargo un dato importante a subrayar es la marcada tendencia de las arenas medianas y finas a desplazarse y movilizarse con intensidades menores de viento de viento, algo discordante con los resultados de los meses de Septiembre donde se presentaron vientos Paraca de mayor intensidad y que sin embargo no registraron arenas medianas.

TRAMPAS EOLICAS-CAJA N° 2											
escala wentworth	Muestra de arenas micras	Caja 2, 25May- 26Jun08, col.26Jun08		Caja 2, 26Jun- 12Ago08, col.12 Ago08		Caja 2, 12aug- 27sep08, col. 27 Sept 08		Caja 2, 27sep- 07nov08, col. 7 nov 08		Caja 2, 07nov08- 12ene09, col. 12 Ene 09	
		peso (g)	Pctg (%)	peso (g)	Pctg (%)	peso (g)	Pctg (%)	peso (g)	Pctg (%)	peso (g)	Pctg (%)
arena muy gruesa	2000	-	0,00	-	0,00	-	0,00	-	0,00	-	0,00
	1410	-	0,00	-	0,00	-	0,00	-	0,00	-	0,00
arena gruesa	1000	-	0,00	-	0,00	-	0,00	-	0,00	-	0,00
	710	-	0,00	-	0,00	-	0,00	-	0,00	-	0,00
arena mediana	500	-	0,00	-	0,00	-	0,00	-	0,00	-	0,00
	350	-	8,00	-	5,00	-	2,00	-	0,00	-	0,00
arena fina	250	-	10,00	-	10,00	-	5,00	-	0,00	-	0,00
	170	-	12,00	-	10,00	-	5,00	-	5,00	-	10,00
arena muy fina	125	-	15,00	-	20,00	-	8,00	-	20,00	-	15,00
	88	-	20,00	-	25,00	-	30,00	-	30,00	-	25,00
	62,5	-	35,00	-	25,00	-	50,00	-	40,00	-	45,00
limo arcilla	limo arcilla	-		-	5,00	-		-	5,00	-	5,00
TOTAL		0.0974 g	100,00	0.2289 g	100,00	12.5271 g	100,00	2.852 g	100,00	7.579 g	100,00

Tabla N° 7 Distribución granulométrica de los sedimentos eólicos captados en la caja eólica N° 2

Se midió la granulometría según el microscopio petrográfico debido a la poca cantidad de material, insuficiente para hacer la prueba de tamizado, por lo tanto solo se calcularon porcentajes.

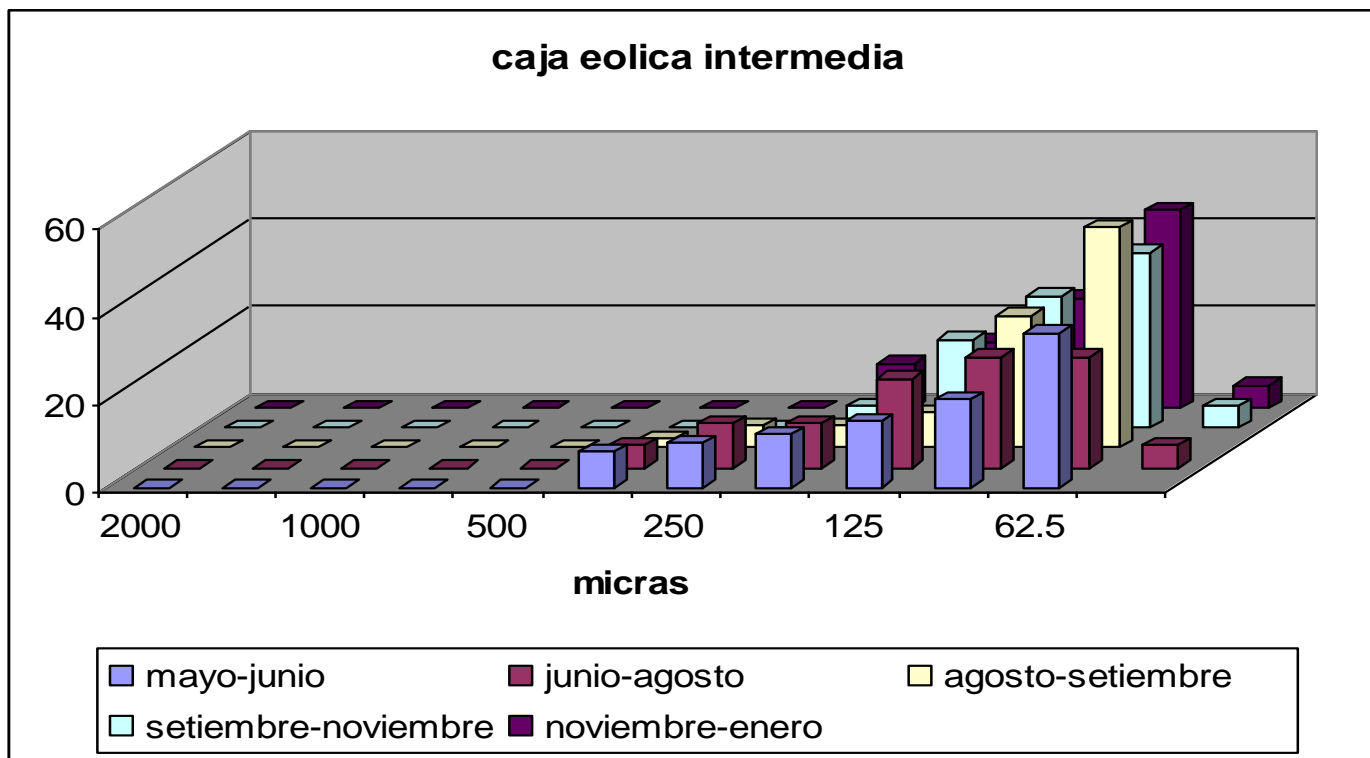


Fig. N° 10. Representación gráfica del tamaño de grano predominante en la colecta de sedimentos

CAJA EOLICA SUPERIOR (caja N° 3)

Esta caja entrampadora está ubicada a 98.8 cm de la superficie aproximadamente y atrapa los sedimentos que se movilizan por suspensión, en algunos casos el material capturado puede ser costras de arcilla o de carbonatos que por su forma y densidad puede trasladarse a alturas mayores pero disgregarse luego de ser capturados; en el caso de los minerales principales formadores de roca y de los minerales pesados existe una tendencia a la angularidad que se hace más notoria en las cajas más alejadas de las superficies, incluyendo mayor número de feldespatos siendo el tamaño predominante de los granos de arena de 60 a 70 micras, lo que se define en mayor acumulación de feldespatos en los niveles superiores de transporte eólico; la captación de sedimentos más finos coinciden con la mineralogía feldespática y la morfometría angulosa.

TRAMPAS EOLICAS-CAJA N° 3											
escala wentworth	Muestra de arenas micras	Caja 3, 25May- 26Jun08, col.26Jun08		Caja 3, 26Jun- 12Ago08, col.12 Ago08		Caja 3, 12aug- 27sep08, col. 27 Sept 08		Caja 3, 27sep- 07nov08, col. 7 nov 08		Caja 3, 07nov08- 12ene09, col. 12 Ene 09	
		peso (g)	Pctg (%)	peso (g)	Pctg (%)	peso (g)	Pctg (%)	peso (g)	Pctg (%)	peso (g)	Pctg (%)
arena muy gruesa	2000	-	0,00	-	0,00	-	0,00	-	0,00	-	0,00
	1410	-	0,00	-	0,00	-	0,00	-	0,00	-	0,00
arena gruesa	1000	-	0,00	-	0,00	-	0,00	-	0,00	-	0,00
	710	-	0,00	-	0,00	-	0,00	-	0,00	-	0,00
arena mediana	500	-	0,00	-	0,00	-	0,00	-	0,00	-	0,00
	350	-	0,00	-	0,00	-	0,00	-	0,00	-	0,00
arena fina	250	-	0,00	-	0,00	-	0,00	-	0,00	-	0,00
	170	-	0,00	-	0,00	-	0,00	-	0,00	-	0,00
arena muy fina	125	-	0,00	-	0,00	-	0,00	-	0,00	-	5,00
	88	-	35,00	-	40,00	-	50,00	-	30,00	-	35,00
	62,5	-	55,00	-	55,00	-	50,00	-	60,00	-	60,00
limo arcilla	limo arcilla	-	10,00	-	5,00	-		-	10,00	-	0,00
TOTAL		0.1098 g	100,00	0.1594 g	100,00	4.1229 g	100,00	0.923 g	100,00	1,5551	100,00

Tabla N° 8. Distribución granulométrica de los sedimentos captados en la caja eólica N° 3

	Se midió la granulometría según el microscopio petrográfico debido a la poca cantidad de material, insuficiente para hacer la prueba de tamizado, por lo tanto solo se calcularon porcentajes.
--	--

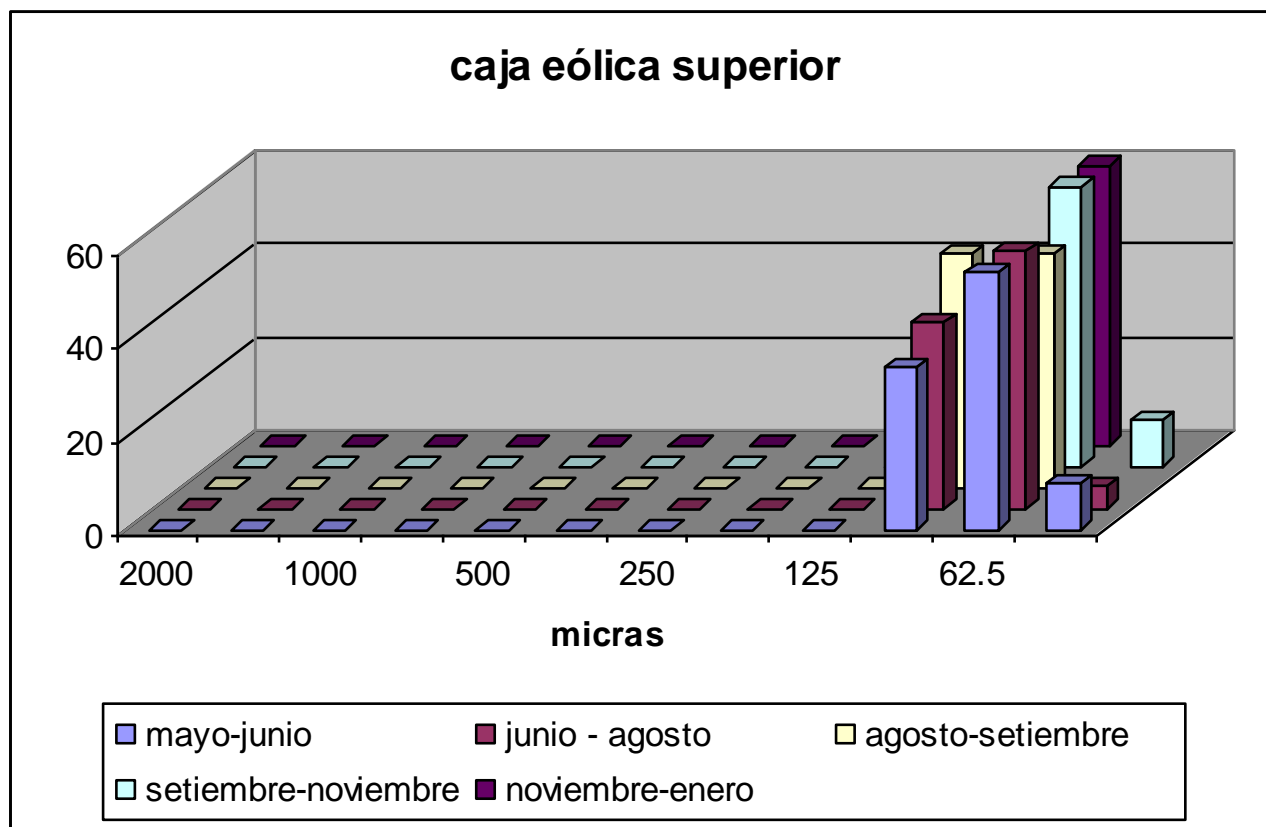


Fig. N° 11. Representación gráfica del tamaño de grano predominante en la colecta de sedimentos

7.1.2 MINERALOGIA

La mineralogía de los sedimentos eólicos no presenta diversidades extraordinarias, varían de acuerdo al ambiente dominante mas cercano en el que se encuentran (continental o marino), como por ejemplo en el caso de la glaucomita que es un mineral típico de ambientes marinos, los cuales se encuentran en proporciones pequeñas pero varían en cantidad de acuerdo a su nivel aéreo de desplazamiento eólico. El número mayoritario de cuarzos y feldespatos no es extraño dado que son los componentes principales de las rocas, estas arenas pueden variar su color debido por ejemplo al contenido de ferromagnesianos (negra).

Los sedimentos almacenados en las cajas entrampadoras, son de composición en su mayoría feldespática y cuarzosa, pero también contienen Glauconita o Sericita, que son minerales de ambientes marinos someros y micas en fases de alteración feldespática.

1º intervalo de colecta

En el intervalo del mes señalado, se puede ver la mayor proporción de cuarzos y feldespatos, con presencia de algunos otros minerales como glauconita y carbonatos; variando la proporción según la altura de los niveles de las cajas entrampadoras, por ejemplo en la caja N° 1 más cerca de la superficie la presencia del cuarzo es igual de importante que la de los feldespatos

Intervalo de fecha de colecta de la muestra	Nº Caja de la muestra colectada	Minerales determinados (%)			
		Cuarzo	Feldespato	Carbonatos	Mica
25 Mayo-26 Junio	1(*)	45	35	3	17
	2	35	45	-	20
	3	35	50	5	10

Tabla N° 9 Porcentajes de minerales reconocidos en la sección delgada

2 ° intervalo de colecta

Conforme el nivel del transporte se hace más distante de la superficie la captura de los feldespatos es más notoria, encontrándose también micas en distintas variedades de alteración de micas

Intervalo de fecha de colecta de la muestra	N° Caja de la muestra colectada	Minerales determinados (%)			
		Cuarzo	Feldespatos	Carbonatos	Mica
26 Junio-12 Agosto	1(*)	50	45	-	5
	2	40	50	-	10
	3	35	50	5	10

Tabla N° 10 Porcentajes de minerales reconocidos en la sección delgada

3^o intervalo de colecta

En los meses de mayor frecuencia de Paracas, los minerales siguen siendo los mismos, salvo que se acentúa el transporte de feldespatos, pero sin embargo no se halla glauconita en su composición, por lo que si densidad parece ser mínima como para poder haber sido captado por las cajas entrampadoras. La glauconita es un mineral de ambientes marinos someros y su presencia en zonas desérticas colindantes a las bahías es importante. Los piroxenos también son transportados pero indican sobre todo la desintegración y erosión de rocas volcánicas, lo cual indica su mayor transporte, debido a que en las cercanías de Paracas no se considera importante la presencia de afloramientos volcánicos, siendo los intrusivos ígneos los que más material aportan desde las faldas de las estribaciones andinas. Podemos concluir que se tratan de material aportado por el lavado de rocas del fondo marino que traen como conglomerados materiales adheridos de rocas volcánicas.

Intervalo de fecha de colecta de la muestra	N° Caja de la muestra colectada	Minerales determinados (%)			
		Cuarzo	Feldespato	Carbonatos	Mica
12 Agosto-27 Septiembre	1(*)	45	45	3	7
	2	45	50	5	-
	3	30	50	5	5

Tabla N° 11 Porcentajes de minerales reconocidos en la sección delgada

4^o intervalo de colecta

En este mes de colecta de sedimentos tampoco como en el mes anterior se encontró glauconita incrementándose levemente la cantidad de feldespatos, la tendencia del predominio de feldespatos también se observa en esta tabla así como su incremento conforme la distancia de la caja entrampadora con la superficie es mayor.

Intervalo de fecha de colecta de la muestra	N° Caja de la muestra colectada	Minerales determinados (%)			
		Cuarzo	Feldespato	Carbonatos	Mica
27 Septiembre-07 Noviembre	1(*)	42	48	3	7
	2	45	50	5	-
	3	35	55	5	5

Tabla N° 12 Porcentajes de minerales reconocidos en la sección delgada

7.1.3. MORFOMETRIA

La morfometría se realizó mediante el microscopio petrográfico con una regla micrométrica en la que se determinó mediante sus dos diagonales del grano, mayor y menor, el promedio de la medida de los granos que conforman el sedimento entrampado y mediante la observación de otro geólogo se disminuyó la subjetividad de la determinación del grado de redondez de cada uno de los granos observados.

1º intervalo de colecta

En la tabla a continuación se puede observar dentro de un universo de cien granos observados, la proporción de granos en su mayoría subredondeados y subangulares y sus respectivos rangos de tamaño para cada caso, estas tablas están ordenadas según los intervalos de colecta. Una conclusión que se puede deducir de ver estas tablas es que en las cajas que están ubicadas a media altura, son las que captan mayor cantidad de granos subredondeados, y por lo tanto mayor cantidad de feldespatos, es decir los granos en suspensión son en su mayoría feldespatos subredondeados.

Fecha de colecta de la muestra	N° Caja de la muestra colectada	Morfometria de los granos de cuarzo (%)					
		Angular	Subangular	Subredondeado	Redondeado	muy redondeado	Tamaño del grano en micras (objetivo 10x)
26 Mayo-26 Junio							
	1		76	24			118.44 u(11-12d)
	2		30	70			88.83u(8-10d)
	3		74	26			69.09u(6-8d)

Tabla N° 13 Porcentajes de minerales según su morfometría observada al microscopio

Fecha de colecta de la muestra	N° Caja de la muestra colectada	Morfometria de los granos de feldespatos (%)					
		Angular	Subangular	Subredondeado	Redondeado	muy redondeado	Tamaño del grano en micras (objetivo 10x)
26 Mayo-26 Junio							
	1			64	36		118.44 u(11-12d)
	2		4	66	30		88.83u(8-10d)
	3		20	73	7		69.09u(6-8d)

Tabla N° 14 Porcentajes de minerales según su morfometría observada al microscopio

2º intervalo de colecta

Los granos subredondeados superan en porcentaje a los subangulares en la caja N° 1 (más cercana a la superficie) contrariamente al mes anterior, esto se puede deber a la mayor intensidad de viento, presente en este mes y al inicio de la presencia de eventos Paraca que genera la mayor movilización de granos de cuarzo y de mayor angularidad.

Fecha de colecta de la muestra	N° Caja de la muestra colectada	Morfometría de los granos de cuarzo (%)					
		Angular	Subangular	Subredondeado	Redondeado	muy redondeado	Tamaño del grano en micras (objetivo 10x)
26 Junio-12 Agosto							
	1		36	64			118.44 u(11-12d)
	2		30	70			88.83u(8-10d)
	3		66	34			69.09u(6-8d)

Tabla N° 15 Porcentajes de minerales según su morfometría observada al microscopio

Fecha de colecta de la muestra	N° Caja de la muestra colectada	Morfometría de los granos de feldespatos (%)					
		Angular	Subangular	Subredondeado	Redondeado	muy redondeado	Tamaño del grano en micras (objetivo 10x)
26 Junio-12 Agosto							
	1		64	28	8		118.44 u(11-12d)
	2		44	42	14		88.83u(8-10d)
	3		44	52	4		69.09u(6-8d)

Tabla N° 16 Porcentajes de minerales según su morfometría observada al microscopio

3º intervalo de colecta

Se mantiene la tendencia del transporte de los sedimentos, debido a la mayor intensidad en el viento o a los eventos Paraca, la proporción de feldespatos es similar a la de cuarzos en las cajas más cercanas a la superficie, razón que se corrobora en la proporcionalidad también de la morfometría.

Fecha de colecta de la muestra	N° Caja de la muestra colectada	Morfometría de los granos de cuarzo (%)					
		Angular	Subangular	Subredondeado	Redondeado	muy redondeado	Tamaño del grano en micras (objetivo 10x)
12 Agosto-27 Septiembre							
	1		50	50			118.44 u(11-12d)
	2	24	26	50			88.83u(8-10d)
	3	10	46	44			69.09u(6-8d)

Tabla N° 17 Porcentajes de minerales según su morfometría observada al microscopio

Fecha de colecta de la muestra	N° Caja de la muestra colectada	Morfometria de los granos de feldespatos (%)					
		Angular	Subangular	Subredondeado	Redondeado	muy redondeado	Tamaño del grano en micras (objetivo 10x)
12 Agosto-27 Septiembre							
	1		20	80			118.44 u(11-12d)
	2	18	24	58			88.83u(8-10d)
	3	24	40	36			69.09u(6-8d)

Tabla N° 18 Porcentajes de minerales según su morfometría observada al microscopio

4º intervalo de colecta

Con esta acumulación de granos de arenas finas, queda demostrado que con vientos fuertes también es posible el transporte por suspensión de este tamaño de arenas, que antes se les consideraba exclusividad del transporte por reptación o saltación.

Fecha de colecta de la muestra	N° Caja de la muestra colectada	Morfometría de los granos de cuarzo (%)					
		Angular	Subangular	Subredondeado	Redondeado	muy redondeado	Tamaño del grano en micras (objetivo 10x)
27 Septiembre-07 Noviembre							
	1		46	54			118.44 u(11-12d)
	2		30	70			88.83u(8-10d)
	3		50	50			69.09u(6-8d)

Tabla N° 19 Porcentajes de minerales según su morfometría observada al microscopio

Fecha de colecta de la muestra	N° Caja de la muestra colectada	Morfometría de los granos de feldespatos (%)					
		Angular	Subangular	Subredondeado	Redondeado	muy redondeado	Tamaño del grano en micras (objetivo 10x)
27 Septiembre-07 Noviembre							
	1		56	44			118.44 u(11-12d)
	2	10	36	54			88.83u(8-10d)
	3	16	34	50			69.09u(6-8d)

Tabla N° 20 Porcentajes de minerales según su morfometría observada al microscopio

7.2. RELACIÓN ENTRE CUARZOS Y FELDESPATOS RESPECTO A LA INFLUENCIA CLIMÁTICA

La importancia de esta comparación radica en su completa relación con el factor climático y por ende la capacidad de deducir el tipo de clima que ha imperado en el proceso de erosión e intemperismo al que han sido sometido las rocas y sedimentos de los que proceden los sedimentos eólicos, por ejemplo en climas áridos sin muchas lluvias regulares, el feldespato (Teruggi & Andreis, 1971) tiende a tener una resistencia mayor que el cuarzo (razones de enlaces químicos) por el contrario en zonas de climas húmedos y lluvias regulares son los cuarzos los minerales que tienen más resistencia, aquí presentamos unos cuadros comparativos con los que se comprueba la estabilidad de ambos minerales en la zona de Paracas con lo cual ratificamos esta teoría, ya que Paracas es una zona árida sin lluvias regulares, hay que tener en cuenta también el factor topográfico que puede variar esta tendencia de resistencia a la erosión, sin embargo la topografía llana de Paracas y sus alrededores no interfieren en dinámica de erosión.

La cantidad de granos de cuarzo disminuye en comparación con la cantidad acumulada en el mes de Noviembre, y la cantidad de granos de feldespato aumenta en comparación con la del mismo mes en mención.

En los granos de cuarzo la tendencia a la angularidad mientras disminuye su tamaño, es menos notoria y constante que en los granos de feldespato, ya que se pueden ver y encontrar granos de menor tamaño con mayor esfericidad que en los de mayor tamaño; esta tendencia también se da en los granos de feldespato, pero dada su mayor abundancia es menos notoria, ya que en las cajas entrampadoras donde se presentan mayor angularidad, la presencia de cuarzos y feldespatos sigue manteniendo las misma proporcionalidad que en los otros niveles, con un ligero aumento en la dominancia de los feldespatos es decir la presencia feldespática sigue dominando pesar del incremento de cuarzos en granos angulosos de menor tamaño.

Abundan en primer orden los granos subredondeados y subangulosos, en su mayoría de composición feldespática, con mala clasificación, y notándose que los granos de menor tamaño corresponden a los de naturaleza feldespática, debido a su menor resistencia a la erosión e intemperismo, por lo que podemos concluir que se transportan con más facilidad, ayudando también por supuesto su menor densidad.

1. Tablas de relaciones numéricas entre el cuarzo y feldespato.

Caja N° 1	Cuarzo	Feldespatos
1° campo	76	131
2° campo	83	133
3° campo	119	138
4° campo	136	140
5° campo	103	156
6° campo	103	144
*campo adicional	104	117
	724	959
relacion qz/fdpto	0,7550	

Tabla N° 21. Tabla de observación de minerales al microscopio. Colecta de flujos más cercanos a la superficie (14.2 cm)

Caja N° 2	Cuarzo	Feldespatos
1° campo	85	122
2° campo	114	179
3° campo	99	158
4° campo	88	152
5° campo	105	168
6° campo	111	149
*campo adicional	65	88
	667	1016
relacion qz/fdpto	0,6565	

Tabla N° 22. Tabla de observación de minerales al microscopio. Colecta de flujos a 58.4cm. de la superficie

Caja N° 3	Cuarzo	Feldespatos
1º campo	79	183
2º campo	81	211
3º campo	97	162
4º campo	62	182
5º campo	82	178
6º campo	81	187
	28	70
	510	1173
relacion qz/fdpto	0,4348	

Tabla N° 23. Tabla de observación de minerales al microscopio. Colecta de flujos 107.4cm de la superficie

7.3.- RESULTADOS METEOROLOGICOS (sin conversión a Km/h)

7.3.1. DIRECCIÓN E INTENSIDAD DE LOS VIENTOS

7.3.1.1. INTERVALOS DE 6 Y 12 DÍAS

- Velocidad y dirección de vientos (cada 6 días)

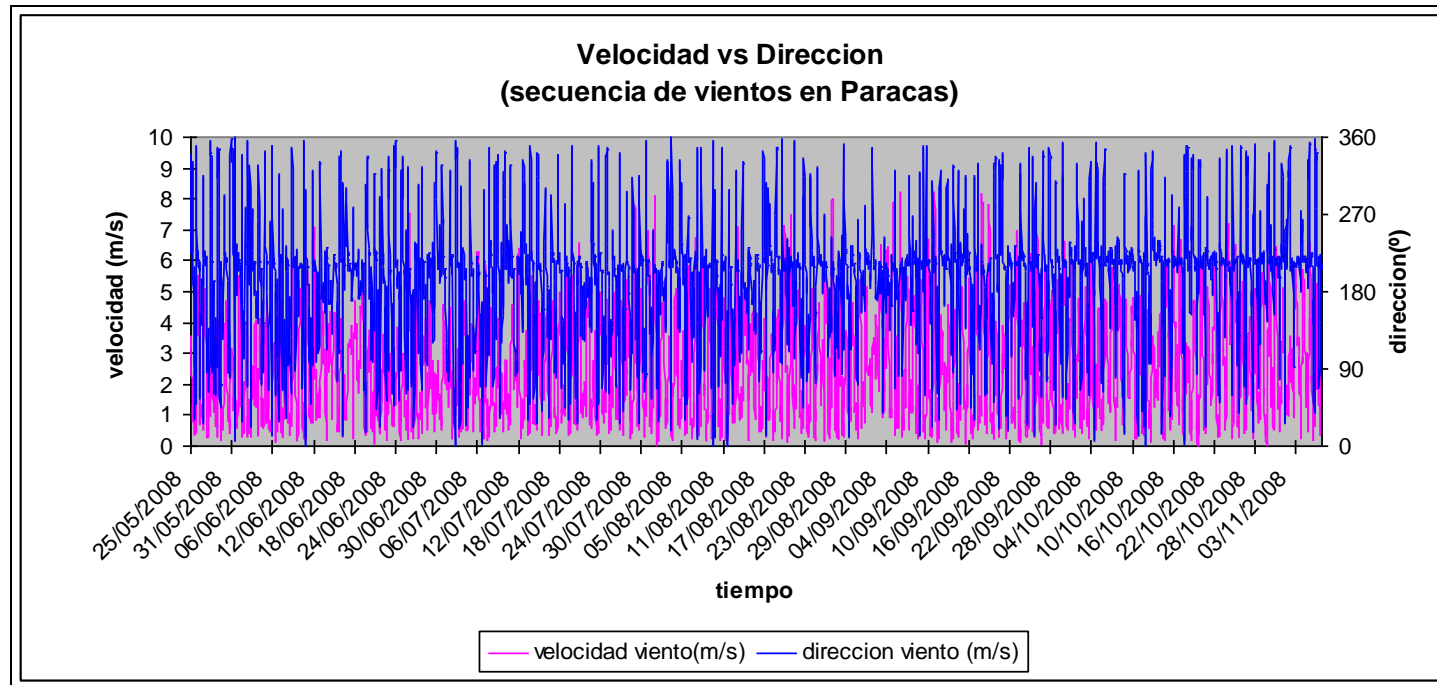


Fig. N° 12. Serie de tiempo de la velocidad y dirección del viento

Se puede apreciar una variabilidad fuerte tanto en la intensidad como en la dirección de los vientos, sin embargo dada la numerosa cantidad de datos recogidos el gráfico resulta en una sucesión de líneas difíciles de observar para el análisis, por lo cual a continuación agrupamos por semanas la data conseguida por los instrumentos meteorológicos. Cabe señalar que estos gráficos se aplicaron a la data sin corregir para el análisis a 10 msnm que usualmente se usa en la meteorología para la medición de la intensidad de los vientos.

- Velocidad de vientos (cada 12 días)

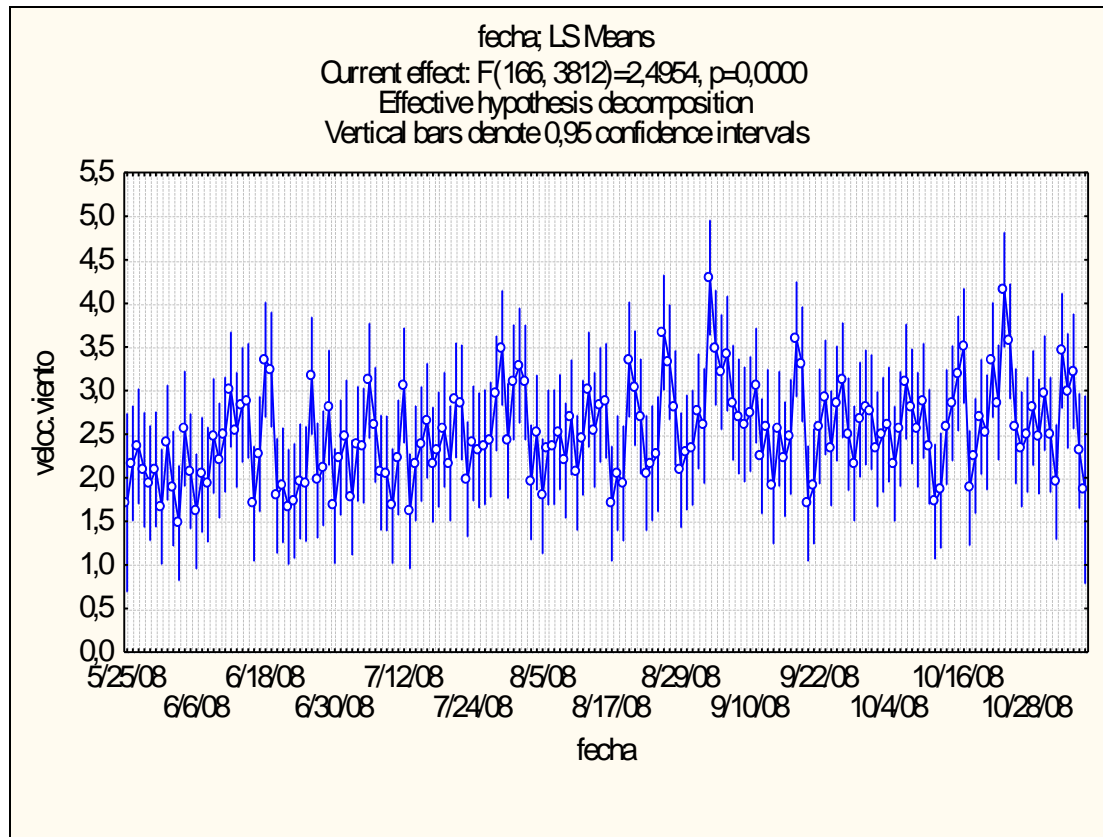


Fig. N° 13. Serie de tiempo de la velocidad del viento

En el gráfico podemos ver que la variabilidad de la intensidad de los vientos es de 1 a 5 m/s aproximadamente siendo los meses de Agosto y Septiembre el lapso de tiempo donde hubo una intensidad mayor en el recorrido de los vientos, lo cual también se aprecia en los

meses de Octubre, siendo menor su intensidad en Junio y Julio; los círculos blanco pequeños representan la media aritmética de la velocidad de los vientos registrada cada dos semanas.

- Dirección de vientos (cada 12 días)

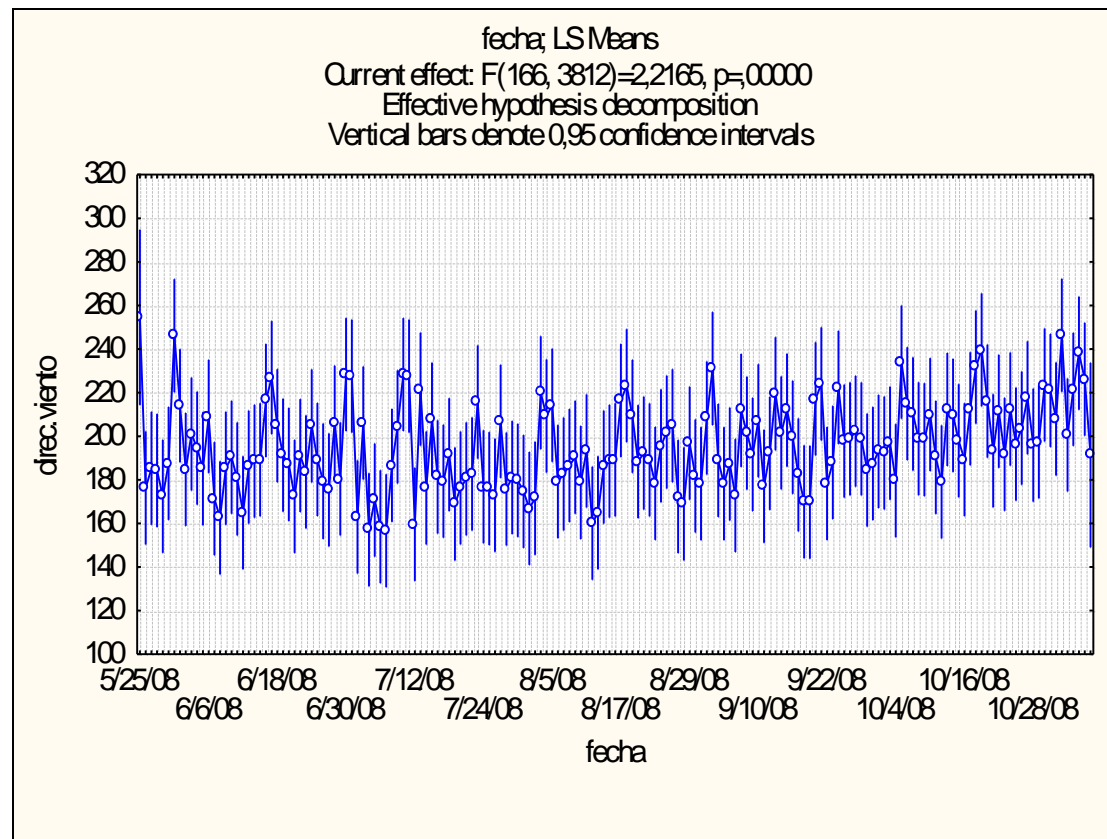


Fig. N° 14. Serie de tiempo de la dirección del viento

Se observa el predominio de direccionalidad hacia el Norte, los círculos blancos representantes de la media aritmética del promedio de direcciones en dos semanas demuestra que la convergencia de estas medias aritméticas están en el rango de 160° a 200° , lo que representa que la mayoría de vientos provienen del sur de la Península de Paracas.

7.3.1.2 INTERVALOS DE COLECTA (GRAFICO DE ROSA DE VIENTOS)

La dirección regional predominante de los vientos es SSW – NNE con ligeras variaciones sexagesimales, lo cual se ha comprobado en regiones como Pisco, (SENAMHI 2007). Sin embargo las direcciones locales de los vientos Paraca tienen su origen en la zona marítima; es por ello y por estar la estación meteorológica ubicada en la Península muy cerca a la bahía de Paracas que las direcciones de viento registradas son de origen SSW y no SSE como son los vientos regionales predominantes.

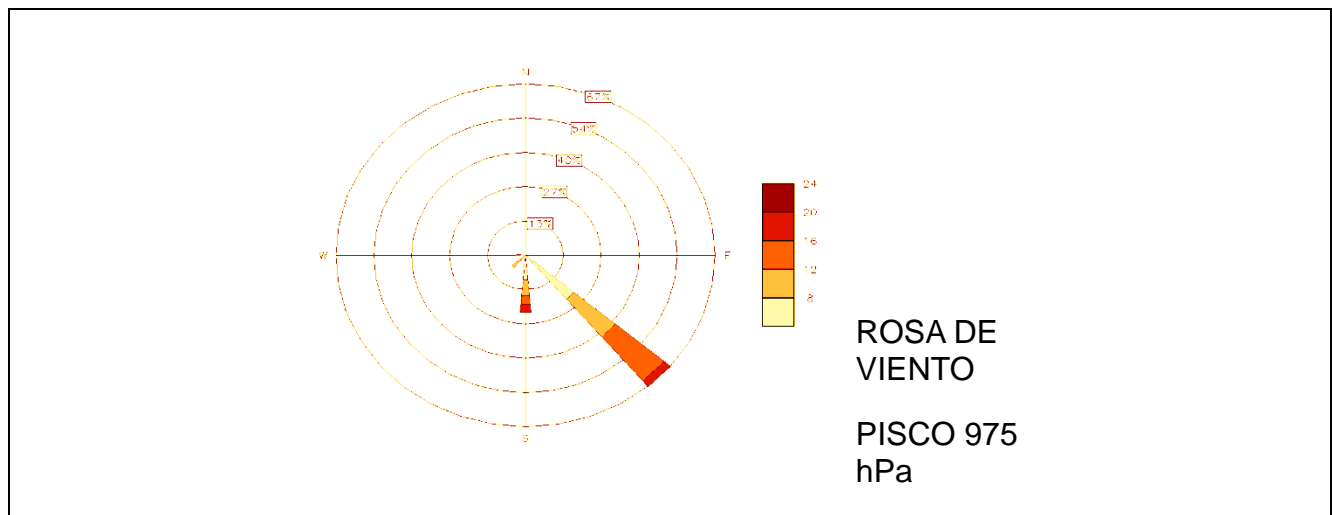


Fig. N° 15 Dirección regional predominante de los vientos en la costa peruana

El movimiento y circulación de las arenas se debe en parte a las corrientes de aire influenciadas por la topografía, además los vientos Paraca tienen un origen superficial marino y no varían su dirección, sin embargo los vientos débiles son de dirección variable, llegando casi el 100 % de las arenas eólicas a originarse en las playas (Parker, 1962).

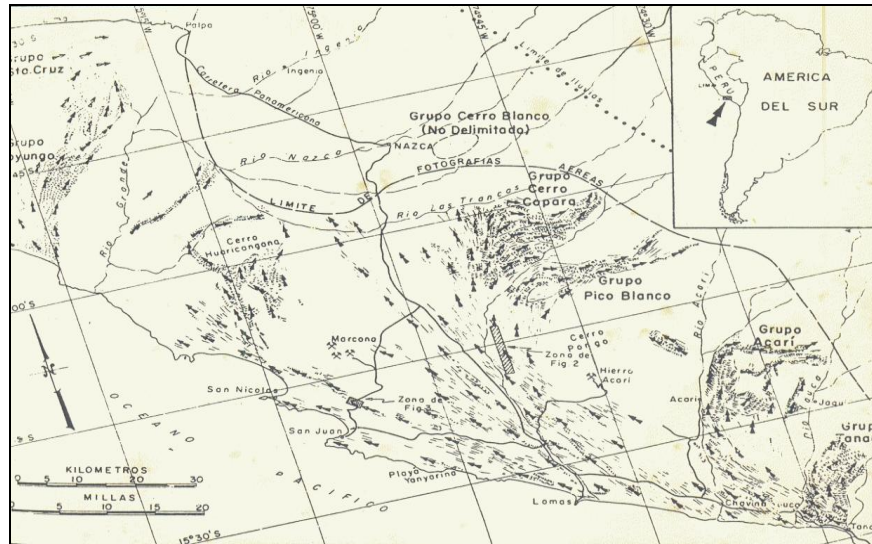


Fig. N° 16 Distribución y dirección de movimiento de las arenas eólicas en la zona de Yauca-Palpa. Tomado de Parker, 1962



Fig. N° 17 Influencia de los vientos marinos

En los siguientes gráficos de rosas de viento se observa la tendencia de los vientos en dirección SSW – NNE con variaciones de más o menos 15° sexagesimales hacia W y E, éste diagrama refleja la data almacenada en el registro de datos colocado en la Península de Paracas así como también fue determinante en la colocación de la dirección de las cajas eólicas adheridos al mástil colocado en la Península, con el objetivo de caracterizar los sedimentos que tienen dirección hacia la bahía y que corresponden a la dirección de vientos predominante, vientos más influyentes que movilizan el flujo de sedimentos que luego sedimentan en ambientes marinos. Esta es la razón por la cual las cajas eólicas estuvieron direccionadas SSW – NNE en una zona que pudiera reflejar el flujo de sedimentos movilizados.

1 intervalo de colecta

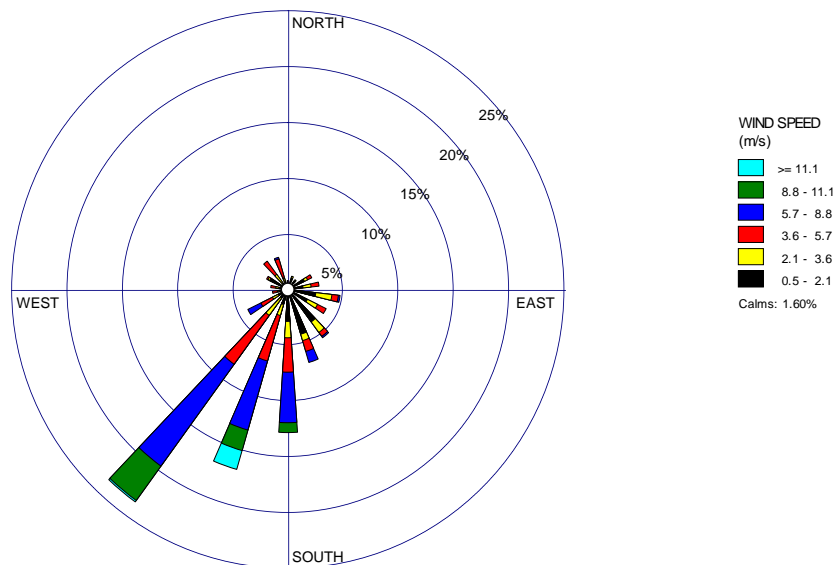
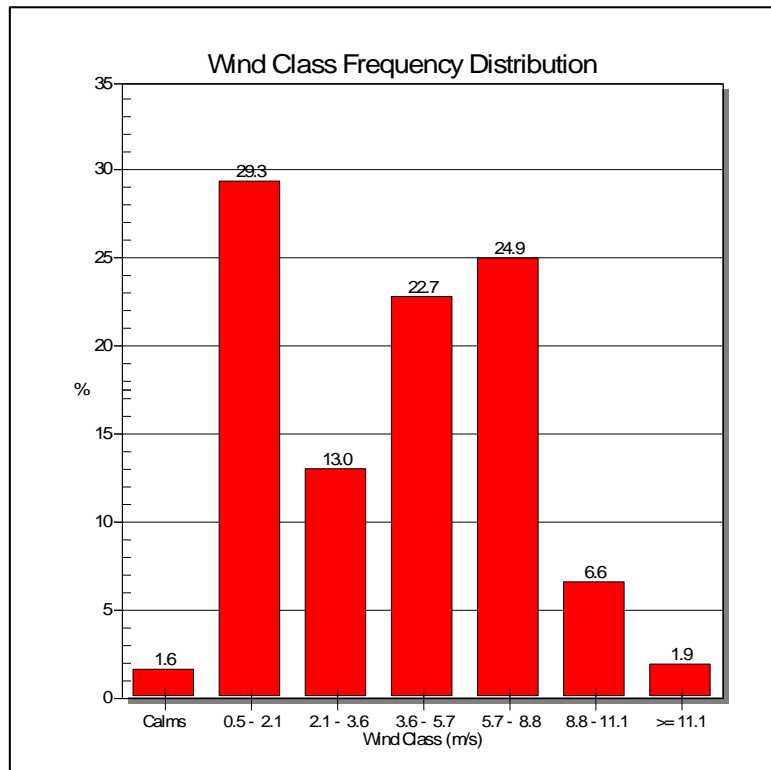
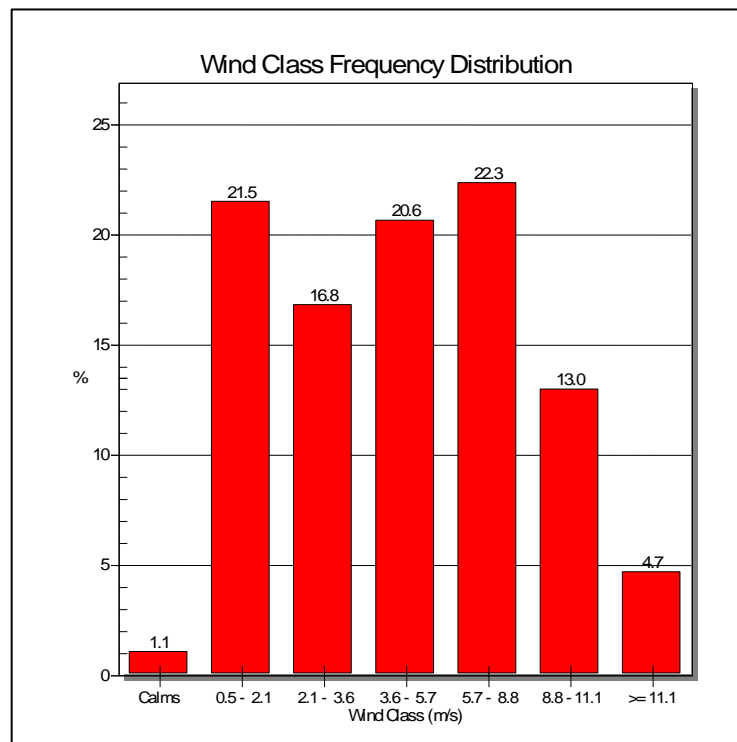


Fig. N° 18 Histograma y rosa de vientos de la primera colecta de sedimentos (Junio 2008)

Las direcciones de los vientos en este primer intervalo de colecta disminuyen en su intensidad conforme su dirección se acerca al este, con una predominancia de los vientos que tienen un rango de 5.7 – 8.8 m/s de velocidad. Una particularidad natural que podemos observar en este gráfico y en los que representan los siguientes meses es la proporcionalidad inversa de la cantidad de data almacenada de vientos de cada rango con la intensidad de los mismos, siendo 5.7 el punto de convergencia en ambos sentidos para los 6 rangos de velocidad.

2° intervalo de colecta



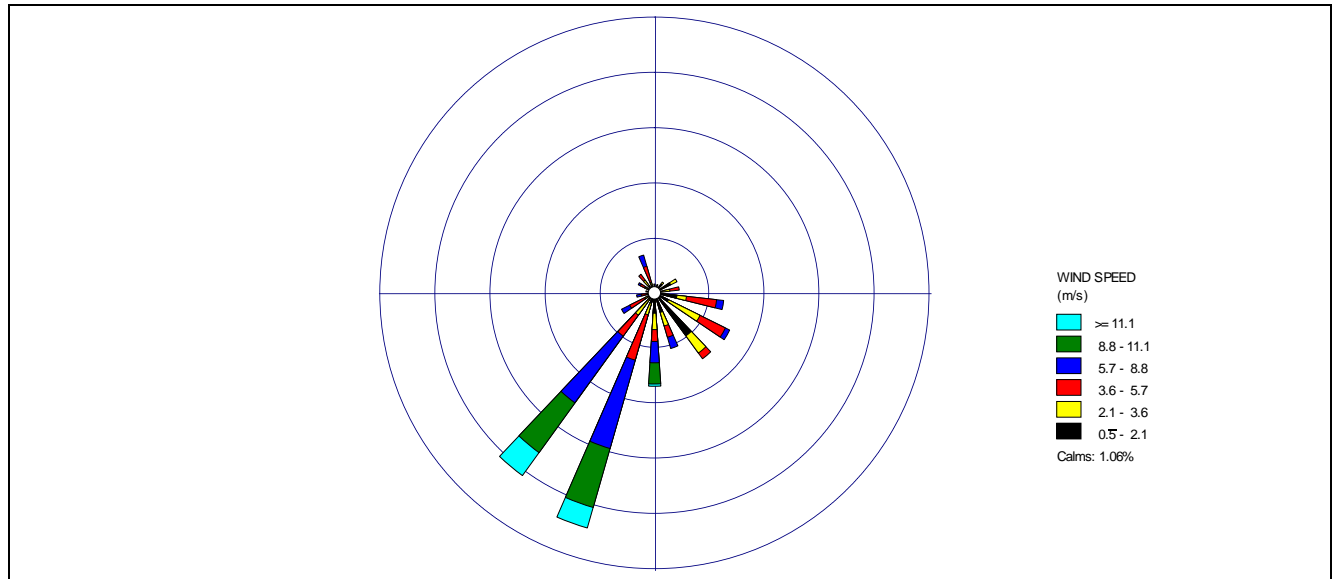


Fig. N° 19 Histograma y rosa de vientos de la segunda colecta de sedimentos (Julio 2008)

Con estas dos figuras se representan la velocidad de los vientos registrados en los meses de Junio y Julio, en estos meses la dirección de los vientos tiende a ser más hacia el NNE, y se incrementa la intensidad de vientos en el rango de 8.8 – 11.1 m/s, a su vez los vientos del SEE se incrementan con velocidades que oscilan entre los 2.1 y 5.7 m/s.

3° intervalo de colecta

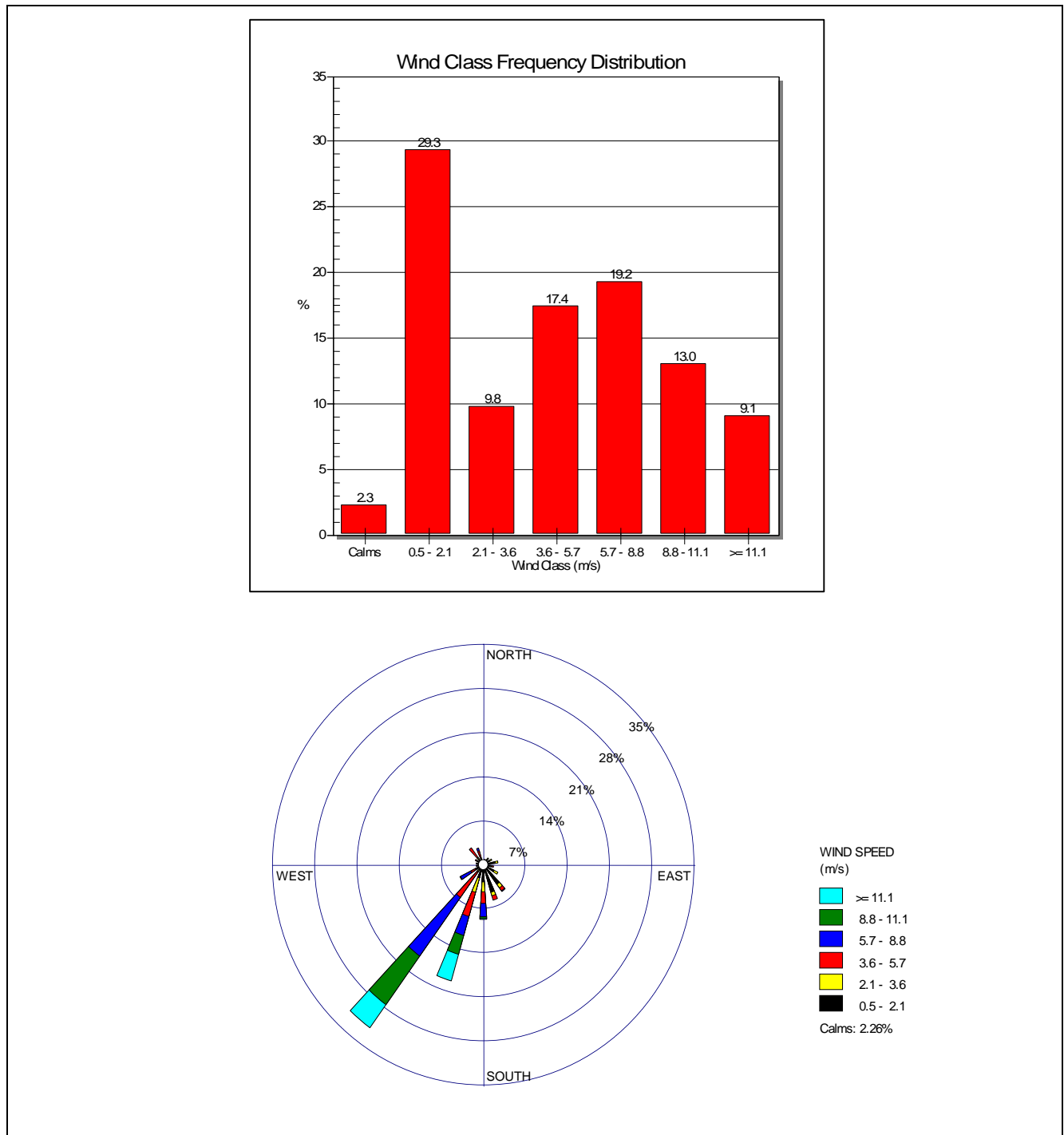
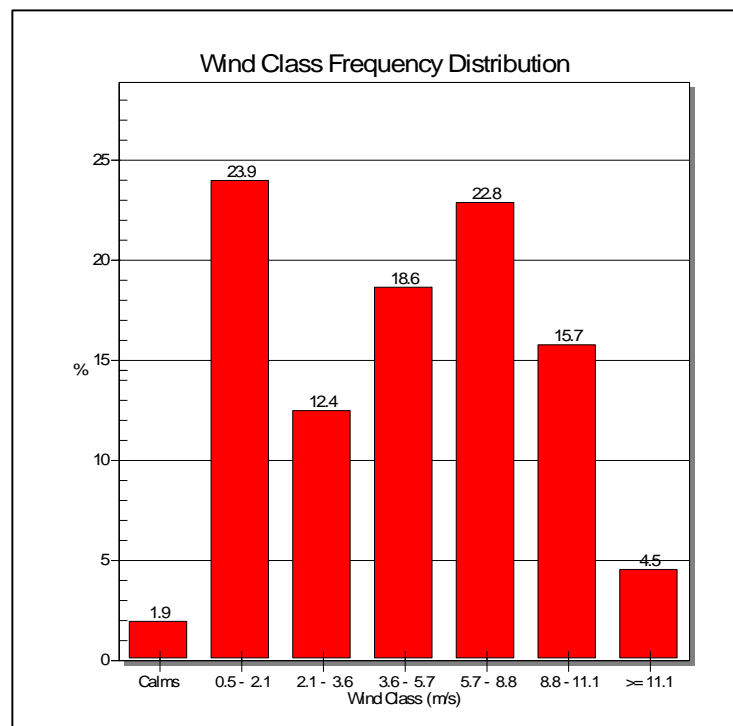


Fig. N° 20 Histograma y rosa de vientos de la tercera colecta de sedimentos (Agosto 2008)

En los meses de Agosto y Septiembre se registraron vientos más intensos en la dirección SSW pero con una tendencia ligera hacia el SEE, en estos meses se registraron los fenómenos de

vientos Paraca con lo cual se almaceno la mayor cantidad de sedimentos eólicos, como se aprecia en las figuras la intensidad de vientos que predominó en estos meses fue en el rango de 8.8 – 11.1 m/s y los mayores a 11.1 m/s con lo cual se corrobora estos almacenamientos mayor de sedimentos eólicos en la cajas entrampadoras y su correcto análisis al que se llegó para ubicar su dirección SSW.

4° intervalo de colecta



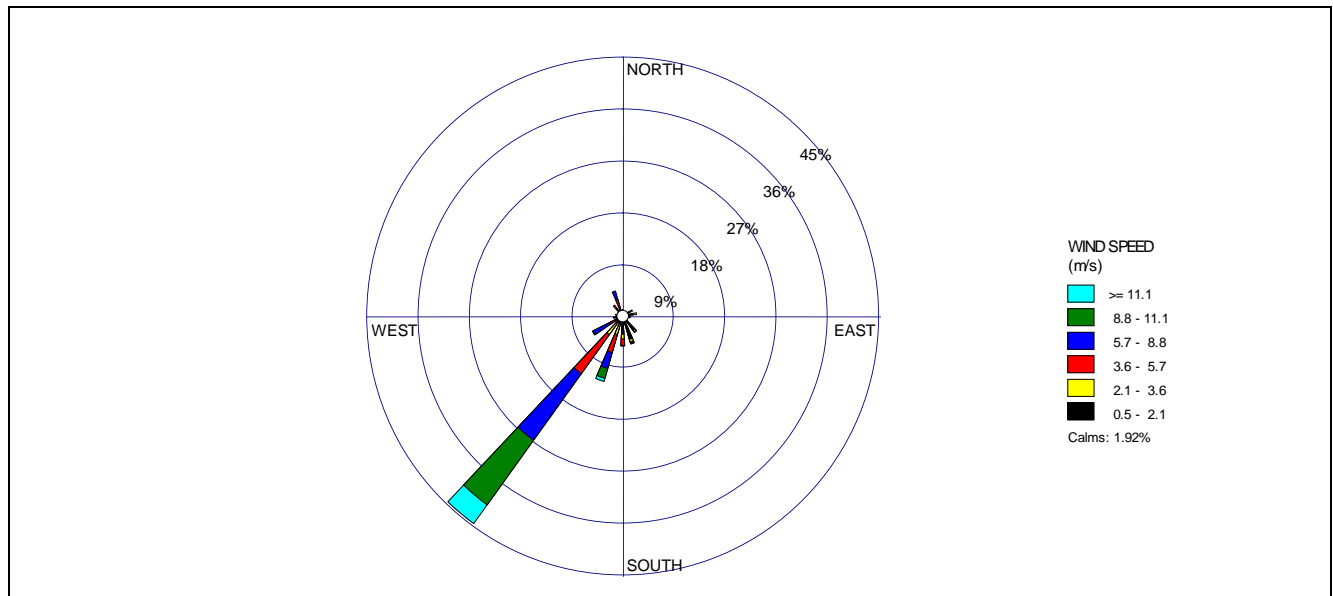


Fig. N° 21 Histograma y rosa de vientos de la cuarta colecta de sedimentos (Noviembre 2008)

En el mes de Octubre y Noviembre se da una particularidad en la dirección de los vientos ya que la gran mayoría presenta direcciones del SSW con una gran tendencia hacia el oeste no coincidiendo plenamente con la direccionalidad de las cajas entrampadoras, por ello la cantidad de sedimentos acumulados es mucho menor a pesar del incremento en la intensidad de los vientos.

7.3.2. ANOMALIA DE VIENTO PARACA

Durante los meses de Agosto y Septiembre se colecto la mayor cantidad de muestra de sedimentos eólicos debido a los vientos intensos suscitados en la península de Paracas, estos vientos fueron registrados por un anemómetro y sus velocidades fueron convertidas de m/s a Km/h.

En el gráfico a continuación se aprecia claramente la anomalía que existe en el mes de Septiembre que resulta en la acumulación mayor de sedimentos eólicos en las cajas entrampadoras colocadas en la estación meteorológica

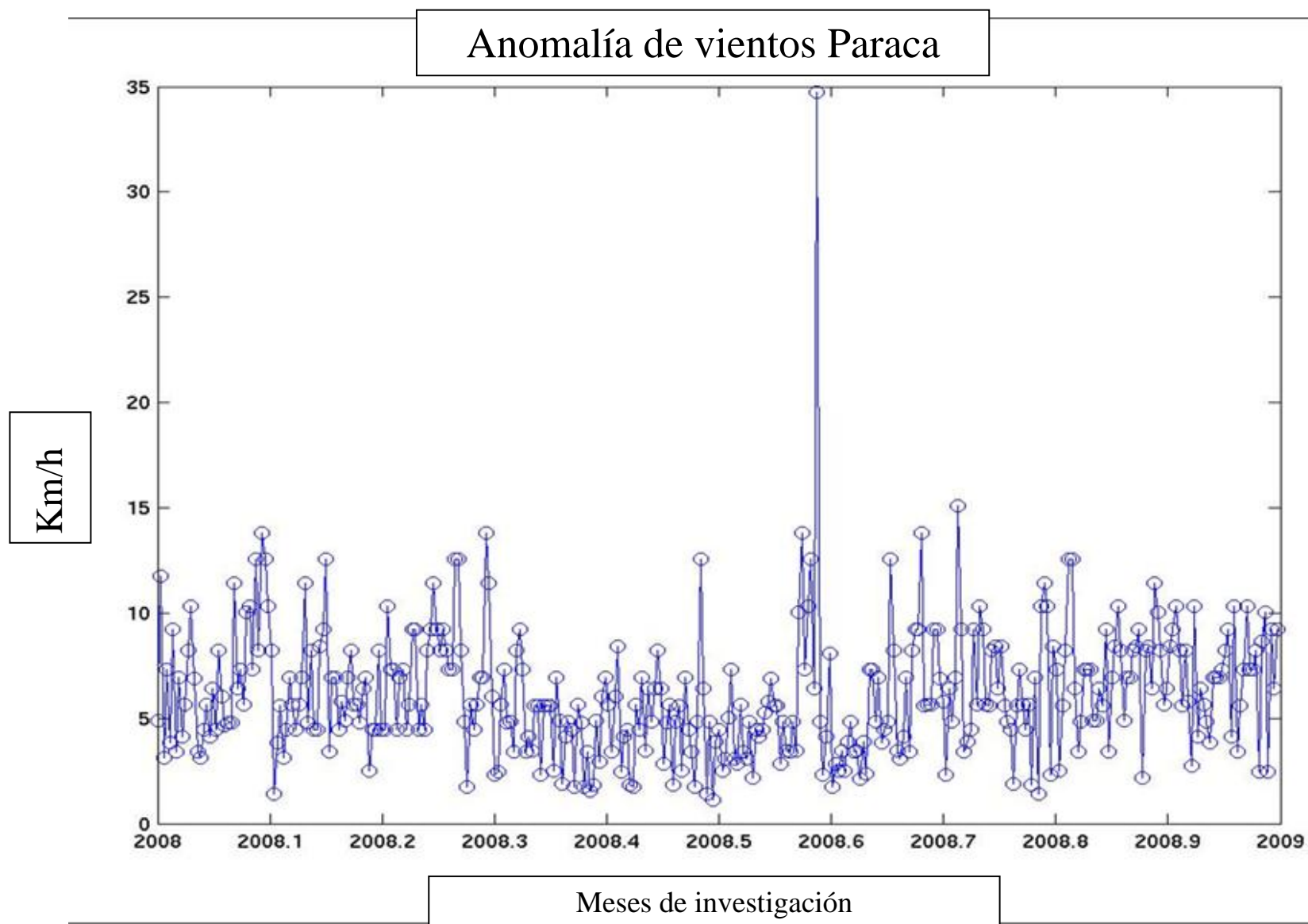


Fig. N° 22 Registro de la intensidad de los vientos

7.4. RELACION ENTRE LA DINAMICA DE LOS SEDIMENTOS Y LAS VARIABLES METEOROLOGICAS

7.4.1. CORRELACIONES ENTRE LOS SEDIMENTOS ENTRAMPADOS Y LAS VARIABLES METEOROLÓGICAS

Las mediciones de la masa de los sedimentos eólicos colectados y la toma de datos de la estación meteorológica, nos ayudan a revelar tesis interesantes en cuanto a la relación entre variables meteorológicas y dinámica de los sedimentos eólicos de los sedimentos de la Península de Paracas. Una de ellas es la mayor velocidad de vientos que se registran en la dirección S-N, siendo registrado estos entre los meses de Agosto y Septiembre, meses que registran vientos Paraca, y la consecuente acumulación de mayor cantidad de sedimentos eólicos. También nos muestra una ligera tendencia de desviación de los vientos hacia el NO, siendo registrada con dirección SSO-NNE en los meses de Octubre, finales de Septiembre e inicios de Noviembre, lapso de tiempo que acaparó la cuarta colecta de sedimentos. Consecuencia de esta ligera pero importante desviación en la dirección de los vientos, resulta en la menor acumulación de sedimentos en las cajas eólicas a pesar de registrar casi la misma intensidad en los vientos, en la similar cantidad de días de colecta.

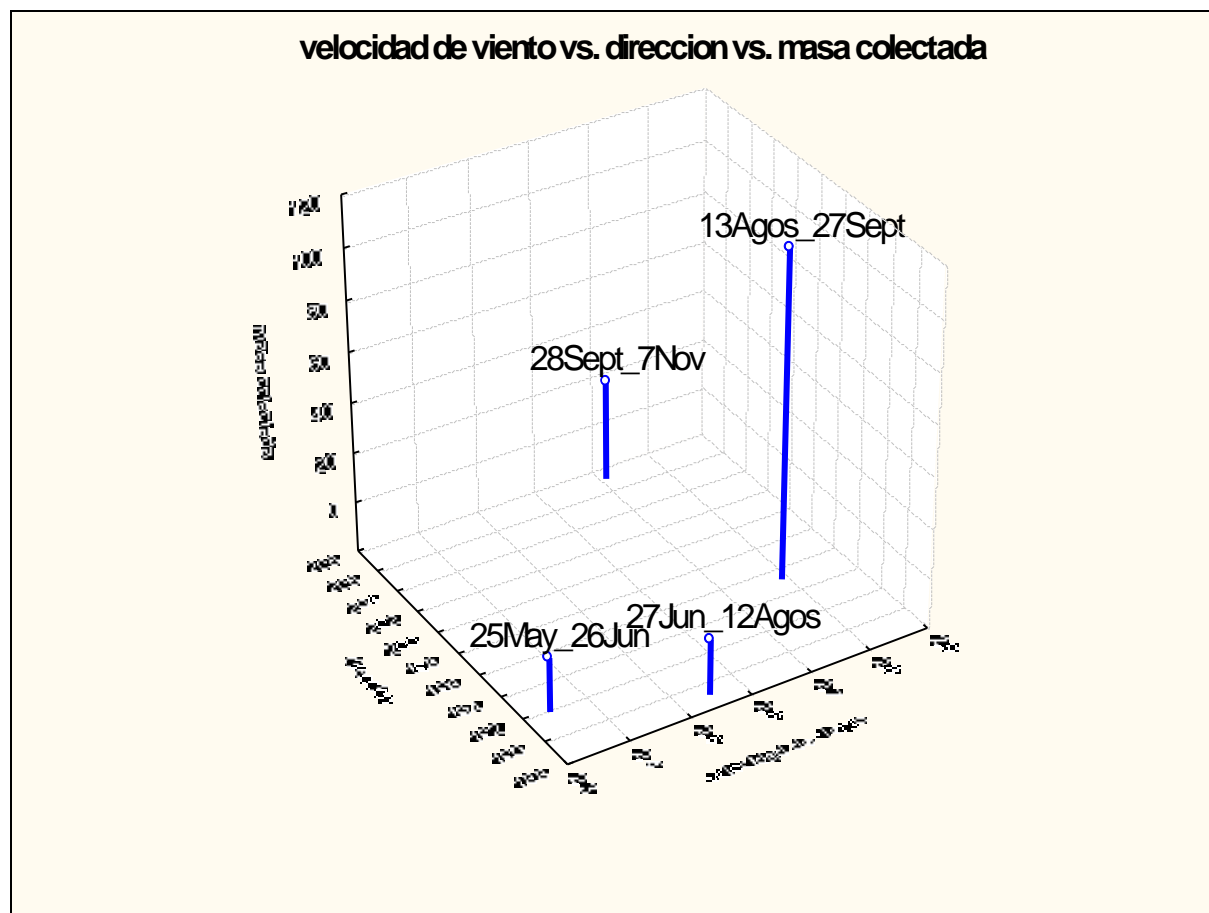


Fig. N° 23. Correlación entre las velocidades de viento y la dirección de vientos con la masa de sedimentos acumulada en los meses de colecta del año 2008, indicando por cada mes la masa colectada según la intensidad del viento.

La dinámica con la que se transportan los sedimentos eólicos en Paracas tiene un comportamiento anómalo en los meses de Septiembre, donde se presentan con mayor frecuencia los vientos Paraca, esto genera una diferencia marcada entre los niveles de las cajas mas cercanas al nivel de la superficie, por otro lado estas diferencias son menores en las cajas ubicadas a mayor altura, donde existe una mayor abundancia de feldespatos que debido a su menor densidad que el cuarzo, se transportan con mayor facilidad a mayor altura sobre la superficie, esto puede generar la mayor acumulación de feldespatos entre los sedimentos marinos aportados por dinámicas eólicas en lugares desérticos con bahías colindantes.

7.4.2 COMPARACIÓN ENTRE DATOS DE CORPAC Y DATA METEOROLÓGICA DE PARACAS (SE AGREGAN DATOS DE MAYOR CAPTACIÓN DE ARENA QUE SUSTENTE ESTAS VELOCIDADES)

Datos aeropuerto de Pisco (David Escobar)						
	Fecha	Hora	V (km/h)	T	P	HR(%)
Enero						
Febrero (*)						
	04/02/2008	19:00-21:00	21	24.5	1011.25	71
	05/02/2008	18:00-19:00	18	24	1010.5	70
Marzo						
Abril						
Mayo						
Junio						
Julio						
	29/07/2008	19:00-22:00	23.25	16.9	1016.35	77.5
Agosto						
	01/08/2008	19:00-23:00	19.6	18.1	1014.85	79.5
	27/08/2008	18:00-21:00	20	18.1	1016.7	75
Setiembre						
	05/09/2008	18:00-19:00	15	18.9	1013.9	73
	11/09/2008	18:00-20:00	17	18.5	1013.75	75.5
vcds	19/09/2008	19:00-21:00	18	18.2	1014.1	73.5
Octubre						
Noviembre						
Diciembre(*)						
Enero						

Tabla N° 24 Secuencia de colecta de sedimentos eólicos

	<i>Coincidencias de ambas estaciones</i>
	<i>Meses de paracas</i>
	<i>Días de registro en Paracas que no se registra en Pisco</i>
(*)	<i>Data no verificada</i>

Caracterización mineralógica y morfométrica de los sedimentos eólicos de la península de Paracas-Departamento de Ica, y su relación con las variables meteorológicas

	Datos estación meteorológica de Paracas						Sediment	Weight (g)			
	Fecha	Hora	V (km/h)	T	P	HR (%)	Starting date-Collecting date	Box 1	Box 2	Box 3	Box 4
Mayo							25/05/2008	1.605	0.0974		0.1098
Junio							26/06/2008				
Julio	29/07/2008	13:00-18:00	27.43	19.52	1007.70	62.36	En este intervalo de tiempo se registran 5 horas de altas velocidades, sin embargo debido a su inconsistencia no genera colección mayor de arena	2.1252	0.2289		0.1594
Agosto											
	01/08/2008	12:00-16:00	27.90	20.21	1006.26	56.66	Podemos considerar 8 días de eventos Paraca, en 2 oportunidades con duración de 2 días consecutivos, en Septiembre en 2 oportunidades y una en Agosto	122.3535	12.5271		4.1229
	20/08/2008	12:00-15:00	25.65	21.35	1006.93	55.81					
	21/08/2008	13:00-14:00	26.28	20.16	1006.65	57.14					
	27/08/2008	12:00-15:00	29.88	20.52	1008.44	54.36					
Setiembre	05/09/2008	12:00-15:00	31.78	22.43	1005.28	54.61	3 días de intensos vientos, en 1 oportunidad con duración de dos días consecutivos	24.7493	2.852		0.923
	06/09/2008	12:00-04:00	27.72	21.07	1005.50	58.87					
	11/09/2008	11:00-3:00	34.72	21.65	1005.19	51.42					
	18/09/2008	12:00-04:00	32.45	20.81	1005.74	52.48					
	19/09/2008	12:00-04:00	27.21	21.32	1004.61	52.28	27/09/2008	65.5993	7.5793	1.1261	1.5551
Octubre	16/10/2008	13:00-16:00	24.12	20.73	1005.87	61.18					
	17/10/2008	13:00-16:00	23.76	21.50	1004.39	56.76	07/11/2008				
	24/10/2008	14:00-17:00	25.66	20.49	1006.38	63.18					
Noviembre							Data por verificar, pero basándonos en la colección de arena, se sugiere etapa de vientos intensos				
Diciembre(*)											
Enero							12/01/2009				

Tabla N° 25 Secuencia de colecta de sedimentos eólicos en Paracas

Días Paraca y coincidencias con estación de Corpac
Meses de paracas

Días de registro en Paracas que no se registra en estación de Corpac
(*) Data no verificada

7.4.3 TASA DE ACUMULACIÓN DE SEDIMENTOS EÓLICOS

Obtener la tasa de acumulación nos da una información indirecta de la intensidad de los vientos, y una información directa del flujo de arena que puede movilizarse a ciertas distancias de la superficie como las mostradas en la tabla N° 26,27,28 y 29 a continuación, estas masas de sedimentos eólicos se obtuvieron a partir de la colocación de trampas eólicas adheridas a un mástil, las cuales tuvieron todas la misma área de recepción de éstos flujos, el mismo tiempo de colecta y la misma velocidad de vientos con ciertas variaciones mínimas según la distancia con la superficie. La importancia de obtener estos sedimentos radica en la de saber cuál es la relación de estos vientos con los sedimentos que son transportados hacia la bahía de Paracas, la intensidad de viento y tiempo que necesitan para movilizarse y el tipo de sedimento que se moviliza en la Península, ya que es necesario conocer el tipo de dinámica que se suscita en la península y que sedimento es aportado de forma eólica para estimar los porcentajes luego en los sedimentos marinos con el objetivo de realizar reconstrucciones paleoclimáticas.

1º intervalo de colecta

En el mes de Junio la colecta de masa sedimentaria no superó los 2 gramos en ninguna de las cajas entrampadoras, lo cual nos infiere una dinámica de vientos débil durante estos meses.

Caja entrampadora	ubicación	peso sedimentos	%	tiempo de colecta	Altura (caja entrampadora con relación a la superficie)
1	inferior	1.6050 g	88.56	32 días	14.2 cm.
2	Medio	0.0974 g	5.37	32 días	58.4 cm.
3	superior	0.1098 g	6.07	32 días	107.4 cm.

Tabla 26. Tasa efectiva de colecta (Mayo – Junio)

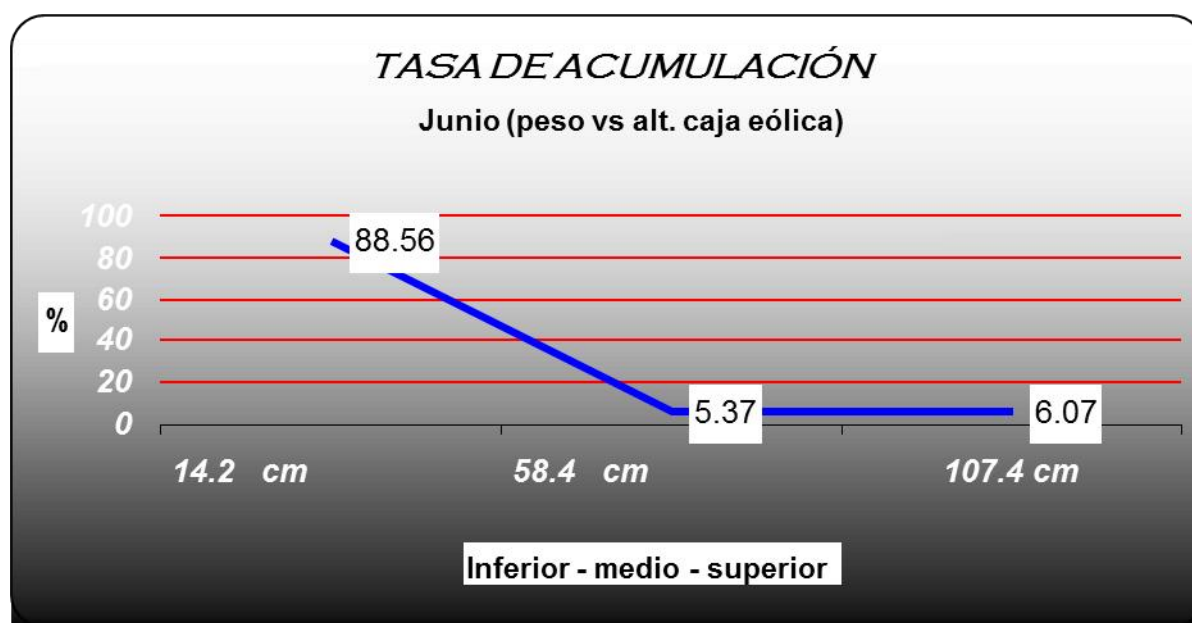


Fig. N° 24 Porcentajes de acumulación de sedimentos (Mayo – Junio)

2º intervalo de colecta

En el mes de Julio la colecta fue levemente mayor en cantidad de masa sedimentaria, sin embargo y a pesar de que los días de colecta fueron mayores, la poca intensidad de los vientos sugiere poca acumulación y transporte de sedimentos eólicos, así como la proporción en porcentajes de acuerdo a la ubicación de las cajas eólicas y captura de sedimentos sigue siendo similar en ambos meses.

Caja entrampadora	ubicación	peso sedimentos	%	tiempo de colecta	Altura (caja entrampadora con relación a la superficie)
1	inferior	2.1252 g	84.5	45 días	14.2 cm
2	medio	0.2289 g	9.1	45 días	58.4 cm
3	superior	0.1594 g	6.3	45 días	107.4 cm

Tabla 27. Tasa efectiva de colecta (Junio – Agosto)

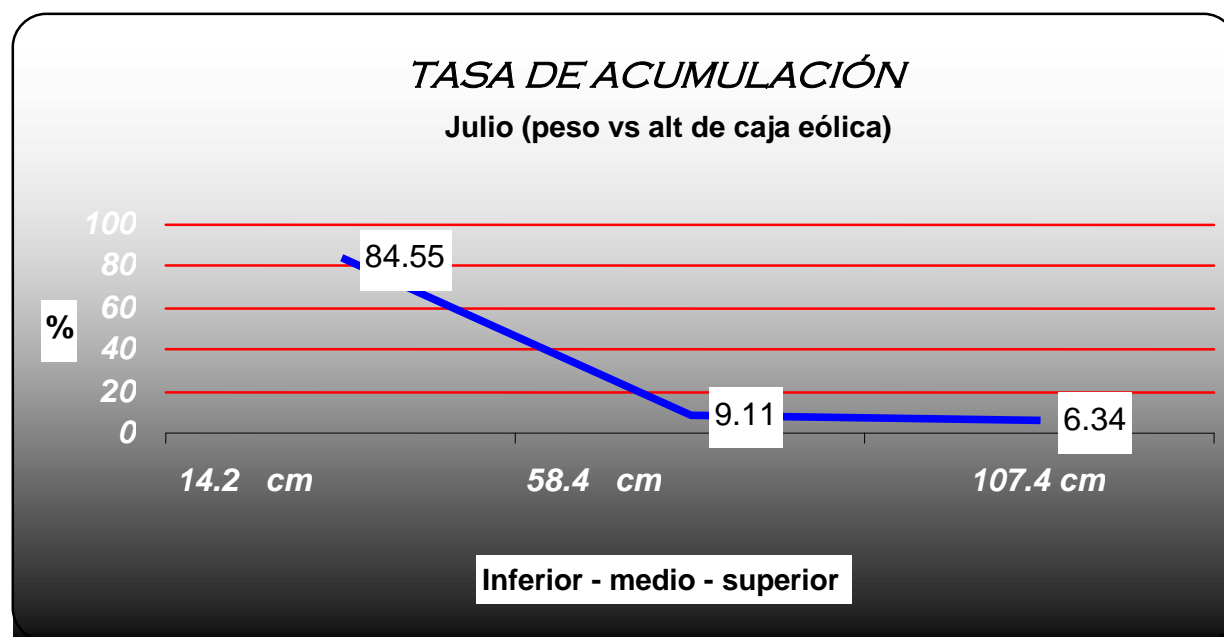


Fig. 25. Porcentajes de acumulación de sedimentos (Junio - Agosto)

3º intervalo de colecta

En el mes de Septiembre la colecta fue anormalmente mayor, debido al fenómeno de viento Paraca, intensidades altas fueron registradas en el data logger y esto se ve reflejado en la cantidad de sedimentos eólicos acumulados en las cajas entrampadoras

Caja entrampadora	ubicación	peso sedimentos	%	tiempo de colecta	Altura(caja entrampadora con relación a la superficie)
1	Inferior	109.9706 g	86.8	40 días	14.2 cm
2	medio	12.5271 g	9.8	40 días	58.4 cm
3	Superior	4.1229 g	3.4	40 días	107.4 cm

Tabla 28. Tasa efectiva de colecta (Agosto - Septiembre)

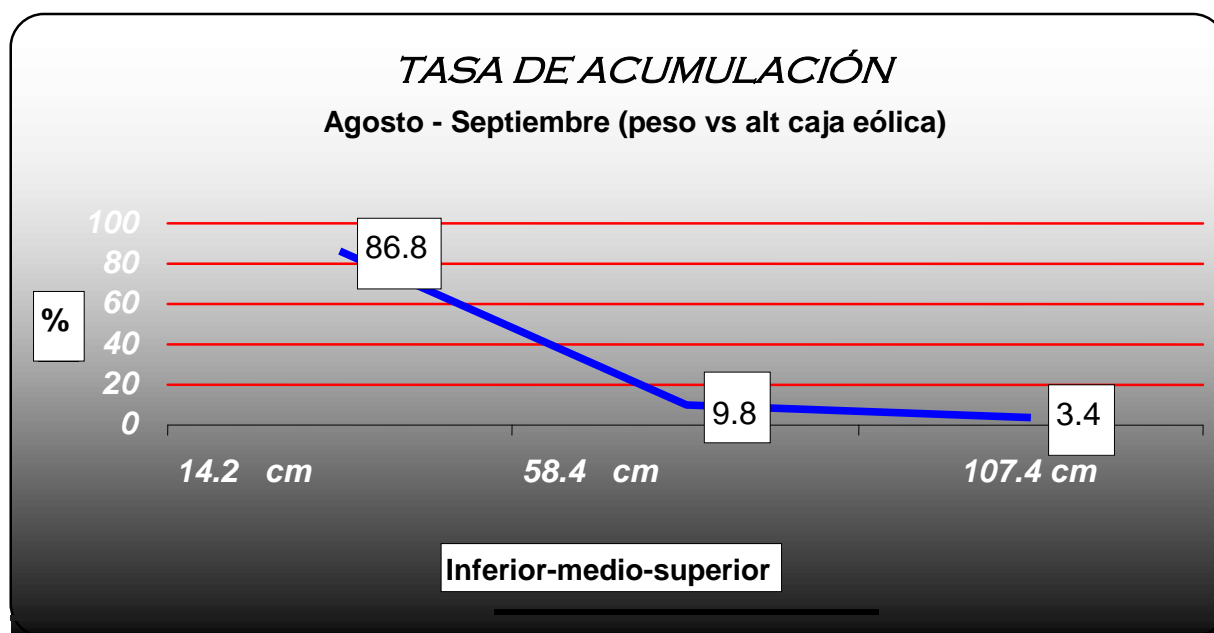


Fig. 26 Porcentajes de acumulación de sedimentos (Agosto – Septiembre)

4º intervalo de colecta

Durante el mes de Octubre los vientos tuvieron una mayor intensidad con relación a los meses de Junio y Julio, esto se refleja en la cantidad de sedimento acumulado; pero esta diferencia en la acumulación de sedimento es también importante con relación al mes de Agosto y Septiembre donde hubo vientos Paraca.

Caja entrampadora	ubicación	peso sedimentos	%	tiempo de colecta	Altura(caja entrampadora con relación a la superficie)
1	Inferior	24.7493 g	86.77	42 días	14.2 cm
2	medio	2.852 g	9.99	42 días	58.4 cm
3	Superior	0.923 g	3.24	42 días	107.4 cm

Tabla N° 29 Tasa efectiva de colecta (Septiembre-Noviembre)

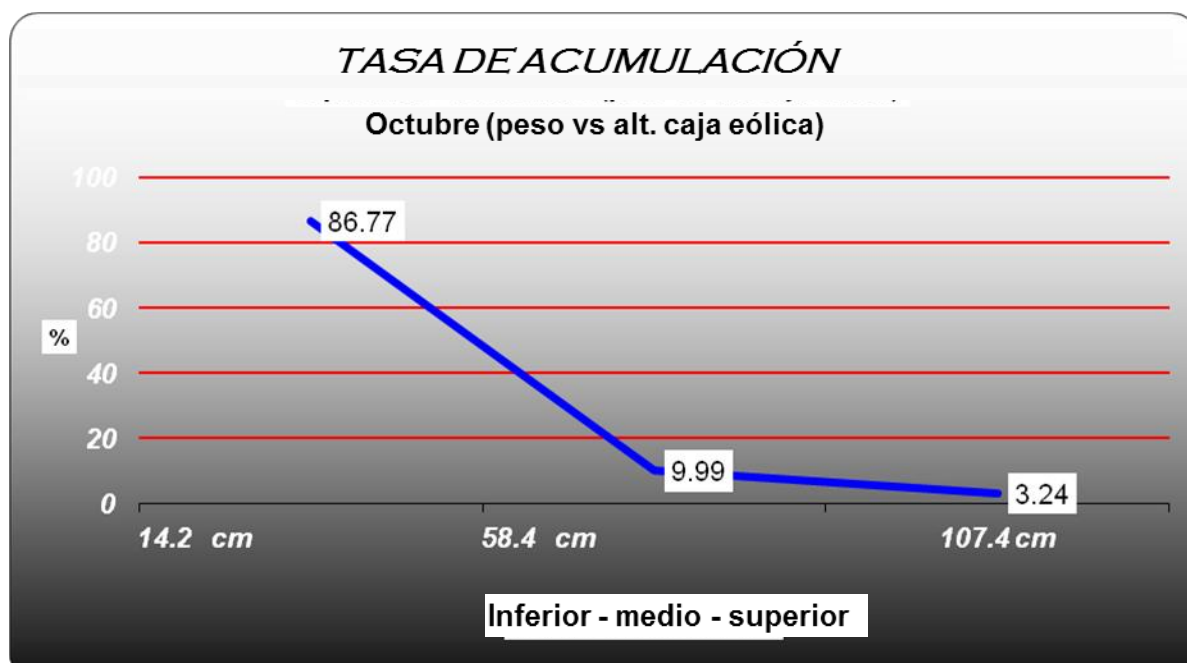


Fig. N° 27 Porcentaje de acumulación de sedimentos (Septiembre-Noviembre)

7.4.4 FLUJOS SEDIMENTARIOS EÓLICOS

Las tablas muestran los flujos de sedimentos que se colectaron en los diferentes intervalos de fechas, tomándose el área de entrada de las cajas entrampadoras como dato necesario para el resultado de estos flujos, éstos datos nos muestran la intensidad con la que se pueden movilizar las arenas en determinados espacios, a determinadas alturas y en que lapso de tiempo se movilizan y la masa capturada. En estas tablas podemos ver que en los meses de Junio y Julio se produjo menor cantidad de movilización de flujos de arena, siendo el pico máximos de movilización de sedimentos arenosos eólicos los meses de agosto - septiembre la altura de 1 metro aproximadamente (caja N° 3) sobre la superficie del terreno

	Sedimento	Sedimento	Peso (g)			Área	Tiempo	Flujo de arena (g/cm2/día)		
Periodo	Fecha de inicio	Horas totales	Caja 1	Caja 2	Caja 3	(cm2)	(días)	Caja1	Caja 2	Caja 3
May-Jun	25/05/2008-26/05/2008	765	1.605	0.0974	0.1098	11.96	31.88	4.21E-03	2.55E-04	2.88E-04
Jun-Ago	27/06/2008-12/08/2008	1133	2.1252	0.2289	0.1594	11.96	47.21	3.76E-03	4.05E-04	2.82E-04
Ago-Sep	13/08/2008-27/09/2008	1095	122.3535	12.5271	4.1229	11.96	45.63	2.24E-01	2.30E-02	7.56E-03
Sep-Nov	27/09/2008-07/11/2008	983	24.7493	2.852	0.923	11.96	40.96	5.05E-02	5.82E-03	1.88E-03

Tabla N° 30 Flujos de sedimentos en 4 períodos de colecta

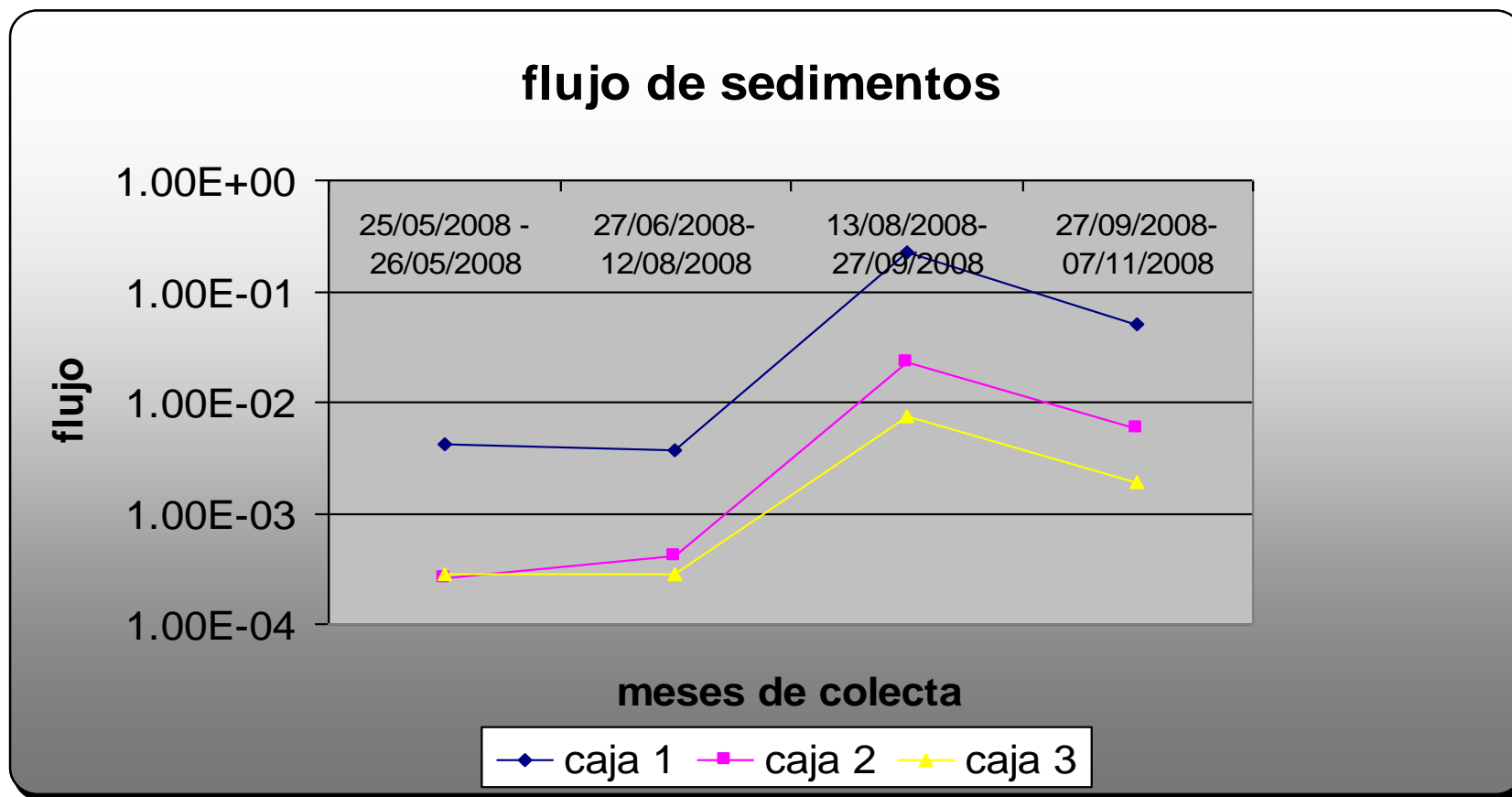


Fig. N° 28.

Flujos eólicos de los 4 intervalos de colecta en escala logarítmica

7.4.5. DIFRACTOMETRIA DE RAYOS X

Luego del tamizado, dentro de la columna de tamices en la base del mismo, se acumula el material fino que no se analiza al microscopio ya que la investigación está orientada a la caracterización de sedimentos eólicos arenosos; por otro lado la caja eólica adherida a la estación meteorológica está diseñada para la captura de arenas finas hasta gruesas, sin embargo debido al clima y al ambiente húmedo las arcillas suelen presentarse a manera de pequeñas laminas delgadas amorfas, tal como sucede con la sal y con algunos carbonatos, debido a esto, el tamizado dio como resultado una acumulación de arcillas que se analizaron en los laboratorios de INGEMMET y que dio como resultado la presencia de los siguientes elementos minerales :

RESULTADOS DEL ANALISIS DE ARCILLAS			
Para el análisis, se usó un tubo de Cu, con una energía del difractor de 40 Kv 30 mA			
Muestra D1		Peso = 1.4237	
Nº	Mineral	Formula	%
1	Halita	NaCl	73.94
2	Amorfo		13.78
3	Cuarzo	SiO ₂	3.21
4	Anortita	(Ca,Na)(Al,Si) ₂ Si ₂ O ₈	3.21
5	Andalucita	Al ₂ (SiO ₄)O	2.41
6	Saponita	(Mg,Al,Fe) ₃ (Al,Si) ₄	1.84
7	Piohmita	AlO(OH)	1.61
Muestra D2		Peso = 1.635	
Nº	Mineral	Formula	%
1	Amorfo		60.74
2	Halita	NaCl	13.88
3	Anortita	(Ca,Na)(Al,Si) ₂ Si ₂ O ₈	6.29
4	Andalucita	Al ₂ (SiO ₄)O	4.12
5	Rectorita	K _{1.2} Al ₄ Si ₈ O ₂₀ (OH) ₄ ·4H ₂ O	3.25
6	Dolomita	CaMg(CO ₃) ₂	3.04
7	Cuarzo	SiO ₂	2.6
8	Portlandita	Ca(OH) ₂	2.17
9	Sauconita	Na _{0.3} Zn ₃ (Si,Al) ₄ O ₁₀ (OH) ₂ ·6H ₂ O	1.74
10	Piohmita	AlO(OH)	1.3
11	Lazulita	(Mg,Fe)Al ₂ (PO ₄) ₂ (OH)	0.87

Muestra D6 Peso = 1.4261			
Nº	Mineral	Formula	%
1	Amorfo		58.17
2	Montmorillonita	$\text{Na}_{0.3}(\text{Al}, \text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$	10.39
3	Cuarzo	SiO_2	9.00
4	Halita	NaCl	6.93
5	Calcita	CaCO_3	5.12
6	Muscovita	$\text{KAl}_2\text{Si}_3\text{AlO}_{10}(\text{OH})_2$	4.16
7	Caolinita	$\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$	2.49
8	Albita	$\text{Na}(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_8$	2.35
9	Clorita	$(\text{Mg}, \text{Al})_6(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$	1.39
Muestra D7 Peso = 1.4521			
Nº	Mineral	Formula	%
1	Amorfo		47.3
2	Halita	NaCl	42.57
3	Albita	$\text{Na}(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_8$	3.6
4	Nickelbischofita	$\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	1.91
5	Calcita	CaCO_3	1.69
6	Montmorillonita	$\text{Na}_{0.3}(\text{Al}, \text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$	1.58
7	Cuarzo	SiO_2	1.35
Muestra D8 Peso = 1.5373			
Nº	Mineral	Formula	%
1	Amorfo		54.43
2	Halita	NaCl	26.64
3	Anortita	$(\text{Ca}, \text{Na})(\text{Al}, \text{Si})_2\text{Si}_2\text{O}_8$	4.65
4	Cuarzo	SiO_2	4.08
5	Andalucita	$\text{Al}_2(\text{SiO}_4)\text{O}$	2.95
6	Clinoenstatita	MgSiO_3	2.72
7	Saponita	$(\text{Mg}, \text{Al}, \text{Fe})_3(\text{Al}, \text{Si})_4$	1.81
8	Calcita	CaCO_3	1.59
9	Montmorillonita	$\text{Na}_{0.3}(\text{Al}, \text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$	1.13

Tabla N° 31. Análisis difractorómetro de rayos x

La presencia de sustancias amorfas es el principal componente de estas arcillas de la Península de Paracas, seguido por las sales como es el caso del Cloruro de sodio y plagioclasas.

CAPÍTULO VIII: CONCLUSIONES

CAPÍTULO VIII: CONCLUSIONES

Según la mineralogía y morfometría, que la angularidad se hace más notoria hacia los sedimentos entrampados en las cajas más distantes de la superficie (Caja N°3), y que los feldespatos son ligeramente más livianos que los minerales de cuarzo y por ende el transporte de éstos es mayor y se manifiesta en todos los niveles de transporte.

La angularidad hace menos aerodinámico en línea recta el transporte de los granos y partículas (hablamos de angularidad en 3 dimensiones, si fuera en 2 dimensiones entonces si habría mas aerodinamicidad) y ello debería manifestarse en los niveles de las cajas entrampadoras, sin embargo los granos angulares son mayoría en los niveles de las cajas entrampadoras conforme se va subiendo el nivel de ellas; esto hace pensar en otra variable que somete a esta función morfométrica, ésta variable concluimos, que es la intensidad anómala en la velocidad del viento que se suscita en esta zona de Paracas.

Entonces quedan claras y demostradas tres hipótesis:

- La mayor facilidad para el transporte de los feldespatos no está en función de su morfometría sino de su densidad y de la turbulencia e intensidad en la velocidad del viento ya que de no ser así hubiésemos tenido una mayor redondez de los granos entrampados en las cajas superiores (Cajas N° 2 y N° 3).
- El sorting de los granos de arena según se va llegando hasta los 50 cm es aleatorio, luego de esta altura, el sorting es diferente, encontrándose granos mas angulares. En épocas de viento Paraca, la proporción de cuarzo y feldespato transportado es inversamente proporcional a sus densidades debido a que hay elementos de mayor influencia como la morfometría.
- Por último, al igual que estudios de sedimentos fluviales realizados por Spalletti, L & M. Mazzoni en 1972 en la república de Argentina, queda demostrado que en ambientes de mayor aridez, el feldespato tiene mayor resistencia que el cuarzo a la erosión e intemperismo en su recorrido eólico suscitado al sur de la Península de Paracas; lo contrario sucede en climas húmedos.

En los minerales componentes de las arenas que conforman la superficie de la Península de Paracas, la granulometría de los granos de arena está dispuesta en forma decreciente desde los flujos que capta la caja entrampadora en la base, hasta los flujos de arena que capta la caja

entrampadora en el tope. Esta distribución en su dinámica eólica está controlada por las variables meteorológicas siendo la más influyente en ella, la temperatura.

La morfoscopía de los minerales entrampados en las cajas eólicas muestra cambio en el dominio de la redondez. Los granos subredondeados dominan hacia la base mientras que los angulares hacia el tope, adecuándose la forma aerodinámica de los granos de arena a velocidades que ocurren a mayor altura (1m. aproximadamente).

Los minerales de feldespatos se encuentran en mayor concentración que los minerales de cuarzo, lo cual se hace menos notorio en la dinámica eólica a menor altura, aproximadamente hasta los 0.30m; además los minerales feldespáticos que se encuentran tienen características distintivas, fácilmente reconocibles al microscopio petrográfico como son las maclas polisintéticas.

Además de estos minerales la presencia de glauconita nos indica la cercanía de un ambiente marino somero, la glauconita está identificada en los sedimentos eólicos y se trasladan desde la línea de costa o playa hacia el continente y que luego al estar condicionado a la dinámica eólica aparecen en las cajas entrampadoras en dirección S-N.

La presencia de arcillitas como clorita y sericita, muestran el grado de alteración e intemperismo al que están expuestos los sedimentos en la Península de Paracas, y el grado de vulnerabilidad a la que están expuestos los flujos de arena con respecto a la variabilidad de su clima y la intensidad dinámica de los vientos. La presencia de foraminíferos es otro indicador de la influencia marina en esta zona contribuyendo en un 3% aproximadamente a la masa que fluye eólicamente en la Península de Paracas.

El desplazamiento de los flujos de arena que se movilizan en la Península de Paracas están regidos por las características geomorfológicas de cada uno de los granos que componen el flujo y por las variables meteorológicas, éstos flujos de arena tienen diferentes direcciones (SSW-NNE, S-N, SSE-NNE) acumulándose la mayor cantidad de arena en movimiento desde todas las direcciones mencionadas, obteniendo muestras representativas de las direcciones más influyentes ya que la dirección de recepción de sedimentos de las cajas eólicas es de S-N (dirección hacia la Bahía de Paracas); estos flujos de arena realizan una dinámica extraordinaria en los meses de Septiembre, obteniéndose mayor cantidad de arena en este mes. La saltación y suspensión son

los mecanismos más importantes e influyentes en la dinámica eólica suscitada en la Península de Paracas.

Con el desplazamiento de los flujos de arena, éstos tienen un destino de depositación marina, con lo cual el aporte eólico toma importancia en el porcentaje acumulativo del material sedimentario submarino, que junto al material sedimentario de procedencia fluvial contribuyen a la formación de capas sedimentarias que concluyen en una secuencia estratigráfica que debido a la ausencia de corrientes marinas, constituye un lugar adecuado para la rápida sedimentación de los materiales que han sido aportados a la bahía de Paracas, contribuyendo y aportando conocimientos para la interpretación geológica de sedimentos marinos y la obtención de registros paleoceanográficos a alta resolución.

.

CONTRIBUCIONES INGENIERILES, AMBIENTALES Y ORIGINALIDAD

Contribuciones ingenieriles y ambientales

La contribución al proyecto MIXPALEO consiste en dar a conocer el escenario meteorológico y geológico en el que se desarrolla el aporte sedimentario eólico hacia la bahía de Paracas. Si podemos obtener porcentajes de sedimentos fluviales y eólicos (caso de esta investigación) que son registrados en la Bahía de Paracas mediante muestras marinas, entonces podríamos inferir algún escenario climático pasado, por otro lado puede ser un aporte para conocer un poco más acerca de la ubicación de zonas potencialmente atractivas para la ubicación de plantas de energía eólica, así como prevenir el enarenamiento de las carreteras, motivos de accidentes en muchos casos.

Originalidad

La dinámica de transporte de material sedimentario eólico que existe en la zona de Pisco, trae como consecuencia el aporte de material fino hacia el mar y la deposición del mismo al integrarse con la materia orgánica precipitando y formando capas sedimentarias en el fondo submarino; pero esta dinámica de vientos esta acompañada de aportes fluviales, y determinan capas sedimentarias de diferentes contenido litológico, orgánico y de diferente textura y color. Es por ello necesario, para apoyar esta hipótesis obtener datos experimentales de la intensidad de los vientos y cuantificar el flujo de aporte sedimentario eólico. Para ello se ubicaron cajas entrampadoras de sedimentos y un almacenador de datos electrónico que recibe información de los sensores adheridos a una estación meteorológica.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alfaro, P.; Moretti M.; & Soria, JM.; 1997. Soft-estructuras de deformación de sedimentos inducidos por terremotos (sismitas) en el Plioceno depósito lacustre (Cuenca de Guadix-Baza, Cordillera Bética central). *Eclogae geol. Eclogae geología. Helv.*, 90/3, 531-540. *Helv.*, 90/3, 531-540.
2. Alfaro, S.C.; Rajot, J.L.; Nickling, W.; 2004. Estimation of PM20 emissions by wind erosion: main sources of uncertainties. *Geomorphology* 59: 63-74. Bagnold R.A 1938; la física de las dunas del desierto y de la arena movida por el viento
3. Bauer, B.O.; and Davidson Arnott, R.G.D.; 2002. A general framework for modeling sediment supply to coastal dunes including wind angle, beach geometry and fetch effects. *Geomorphology* 49, 89 -108
4. Broggi, J.A.; 1952. Migración de arenas a lo largo de la costa peruana, *Bol. de la Soc. Geológica del Perú*, 24, 25p.
5. Eco Consult Perú para Mincetur; 2008. Diagnóstico socio ambiental de la Reserva Nacional de Paracas y zona de amortiguamiento.
6. Fryberger, S.G; Al – Sari A.M & Clisham, T.J.; 1934. Eolian Dune, Interdune, Sand Sheet and Siliclastic Sabkha Sediments of an Offshore Prograding Sand Sea Dhahran Saudi Arabi. *American Association of petroleum Geologist Bulletin* 67(2) 280-312, 1984-.2.Horikawka., y Shen.; 1960; W; Sand movement by wind action and the characteristics sand traps. Technical memorandum 119, US Army Corps Engineers, Beach Erosion Board, Washington DC.
7. Leatherman, S.P.; 1978. A new eolian sand trap design, volumen 25 Issue 2, pages 303-306,
8. León, W. & Aleman, A.; 2002. Forearc extension: tectonics, sedimentologic and stratigraphic evolution of the East Pisco Basin, XI Congreso Peruano de Geología.
9. Teruggi, Mario. &. Andreis, Renato R.; 1971. Microestructuras pedológicas: características, distribución en sedimentitas argentinas y posible aplicación en sedimentología, *Revista de la Asociación Geológica Argentina*, tomo XXVI, N°4 1971, pp 491-502
10. Tucker, 1991. *Petrología sedimentaria: Una introducción al origen de las rocas sedimentarias* 2° ed. 260 pp. Oxford. Blackwell science.
11. Marticorena, B. & Bergametti, G.; 1995. Modelling the atmospheric dust cycle; *Journal of geophysical research*, Vol 100.NO.D8. pp 16.415 - 16.430
12. McKenna & Neuman N.; 1989. Wind tunnel evaluation of a wedge-shaped aeolian sediment trap, *Geomorphology* Volume 18, Issues 3-4, March 1997, Pages 333-345

13. Ortlieb, L.; Escribano, R.; Follegati, R.; Zúñiga, O.; Kong, I.; Rodríguez, L.; Valdés, J.; Guzmán, N. & Iratchet, P.; 2000. Ocean-climatic changes during the last 2,000 years in a hypoxic marine environment of Northern Chile (23S). *Revista Chilena de Historia Natural* 73: 221-242.
14. Ortlieb, L.; Zúñiga, O.; Follegati, R.; Escribano, R.; Kong, I.; Rodríguez, L.; Mourguiart, Ph.; Valdés, J. & Iratchet, P.; 1994. Paleooceanografía de la bahía de Mejillones del Sur (Antofagasta, Chile): Resultados preliminares para el último milenio. *Estudios Oceanológicos* 13: 45-55.
15. Parker, 1962; Origen distribución y movimientos de las arenas eólicas en el área de Yauca y Palpa
16. Parrish, J.T. & Peterson F.; 1988. Wind directions predicted for global circulation models and wind directions determined from eolian sandstones of the western United States – A comparison: *Sedimentary Geology*, v.56, p. 261 – 282
17. SENAEMI 2007. Sistema Nacional de Meteorología e Hidrología. <http://www.senamhi.gob.pe>
18. Stout, J.E. & Zobeck, T.M.; 1997. Intermittent saltation. *Sedimentology* 44,959 – 970.
19. Vargas, Easton G.; 2004; Modelamiento del transporte eólico horizontal de partículas y reconstrucción de la variabilidad del viento sur en la Península de Mejillones; Institución: Universidad de Chile / Departamento de Geología (resumen).
20. Vargas G., 2002. Interactions ocean-atmosphere au cours des derniers siècles sur la cote du Desert d'Atacama: analyse multi-proxies des sediments lamiinés de la Baie de Mejillones (23° S). Tesis de Doctorado, Université Bordeaux I, France. 290 pp
21. Vargas, G.; Ortlieb, L.; Jacques, J.; Bertaux, J.; Pujos, M.; 2004. Sedimentary facies and high resolution primary production inferences from laminated diatomaceous sediments off northern Chile; *International Journal of Marine Geology, Geochemistry and Geophysics*
22. Wentworth C.K., 1922. "A scale of grade and class terms for clastic sediments". *Journ Geol*, 30, 377–392.
23. Wentworth C.K., 1933. "Fundamental limits to the sizes of clastic grains". *Science*, 77, 633–634
24. León, W.; Aleman, A.; Rosell, W.; De la Cruz, O. & Torres V.; 2008. Estratigrafía Sedimentología y Evolución Tectónica de la Cuenca Pisco Oriental; *Bol. N°27 Serie D Estudios Regionales, INGEMMET*.